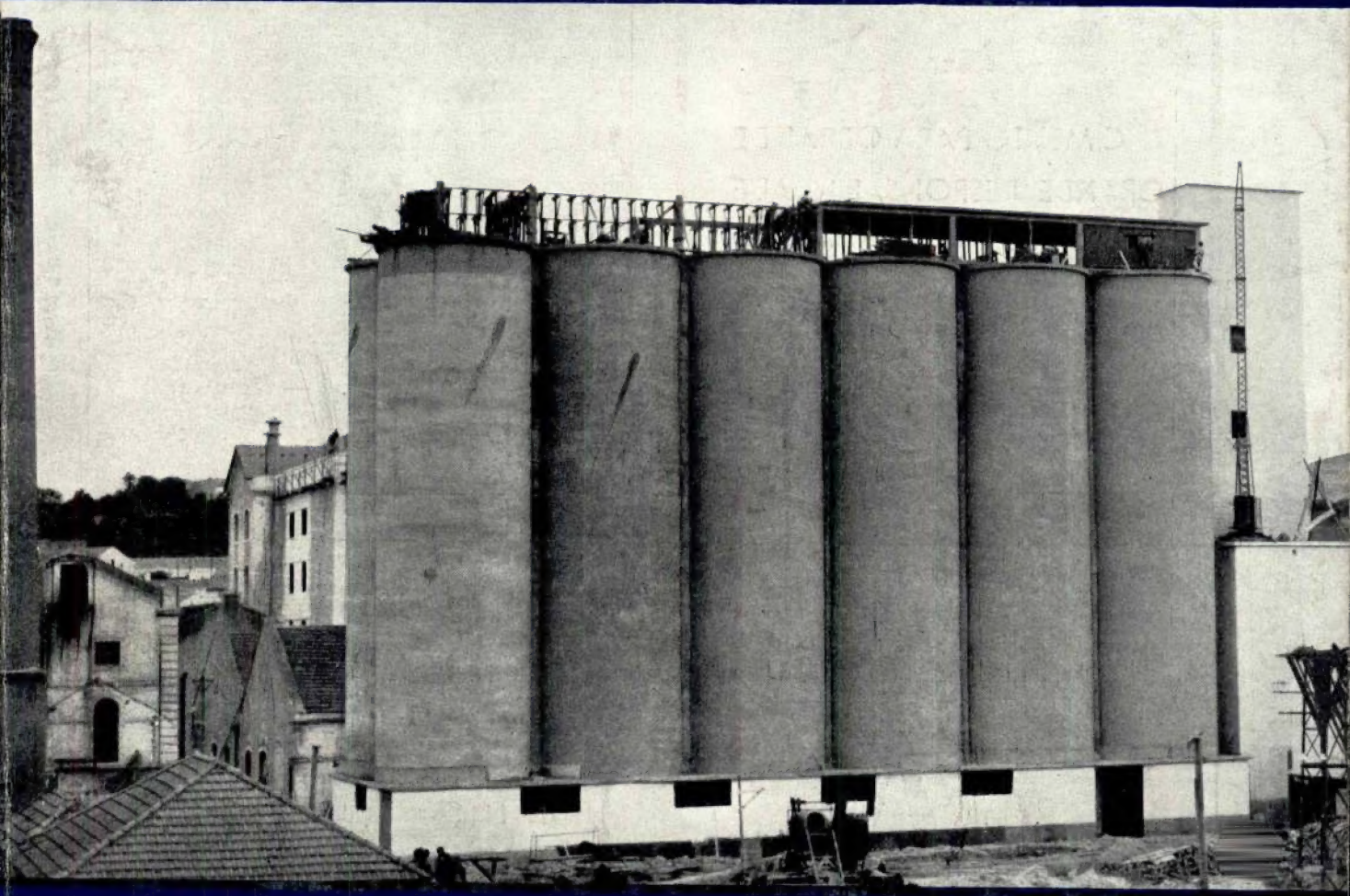
TÉCNICA



REVISTA DE ENGENHARIA
DOS ALUNOS DO I.S.T.

N.º 246 - NOVEMBRO - 1954

CIMENTO SECIL

O CIMENTO PARA OBRAS DE GRANDE RESPONSABILIDADE

4 fornos rotativos — 300.000 toneladas anuais

Fábrica no Outão — Setúbal

Lisboa — Rua do Comércio, 56-3.º

ELECTRO-ARCO
LIMITADA

ELECTRODIOS
POSTOS E ACESSORIOS
PARA A SOLDADURA ELECTRICA

MATERIAL APROVADO PELO
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING

FÁBRICA E LABORATÓRIOS
VENDA NOVA — AMADORA
LISBOA
RUA SILVA CARVALHO, 239 — TEL 63649
PORTO
RUA DO BOLHÃO, 216 — TEL 21277

CAVAN

SOCIEDADE PORTUGUESA

POSTES DE BETÃO PARA LINHAS ELÉCTRICAS
MOSAICOS E AZULEJOS

COLUNAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA
MANILHAS PARA ESGOTOS

RUA D. ESTEFÂNIA, 42
TELEF. 47812-50129
LISBOA

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA DOS ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Ano XXIX - N.º 246 Novembro de 1954

Redacção e Administração: AVENIDA ROVISCO PAIS, I.S.T. * LISBOA-N. * TELEF. 77 0144 (Linha 50)

DIRECTOR

FERNANDO MARQUES DE OLIVEIRA

ADMINISTRADORES

VIRGÍLIO CARDOSO IGREJA

JOSÉ DO SACRAMENTO COSTA

SECRETÁRIO

JORGE DO NASCIMENTO VALÉRIO

CORPO REDACTORIAL

ADELINO JOSÉ SOARES DE MELO

JOÃO PEDRO MOTA E MELO

MANUEL M. FRIAS DE ALMEIDA E SÁ

VÍRGÍLIO LOPES CABRITA

NUMERO AVULSO 12$50

ASSINATURAS:

	3 N.os	5 N.os	10 N.os
Continente e Ilhas	32$50	50$00	95$00
Ultramar Português e Estrangeiro	—	55$00	100$00

EDITOR E PROPRIETÁRIO

ASS. DOS ESTUD. DO I.S.T.

COMPOSTO E IMPRESSO NA

Tip. JORGE FERNANDES, L.DA

RUA CRUZ DOS POIAIS, 103

LISBOA

SUMÁRIO

CAPA — Silo de betão armado para armazenamento de 5.000 T de trigo, executado pelo sistema de moldes deslizantes «Prometo», para a fábrica «Moinhos de Santa Iria, Ltd.ª». — Betonagem contínua, com três turnos, num total de 240 m de deslize. — Projecto e execução de Construções Técnicas, Ltd.ª

Págs

Curiosidade e Vocação. Iniciativa. Convencer. Autoridade
Pelo Prof. Doutor Mira Fernandes 49

A Siderurgia em Portugal: Um programa
Pelo Eng.º Maq. (I. S. T.) A. Nobre da Costa 53

Notas informativas — **Elementos sobre a produção e consumo de energia na rede eléctrica nacional** 78

Transporte de líquidos — Aplicações da expressão fundamental
Pelo Eng.º Quím. (I. S. T.) António Sales Luís 79

Apontamentos sobre a equilibragem dinâmica das máquinas rotativas
Por F. Fanchamps 87

O atravessamento eléctrico do estreito de Messina com cabo aéreo de 220 KV
Pelo Eng.º Civil (I. S. T.) Manuel Joaquim Monteiro de Barros . 95

Vida Escolar e Associativa — Palestra proferida na Semana de Recepção aos Novos Alunos, pelo Eng.º Quadros e Costa 114

Do Mundo Técnico 117

Biblioteca 120

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SÃO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

Indice Alfabético dos nossos anunciantes

A

Pág.

Agência Geral de Material Eléctrico, Ltd.ª . . . . . IX, XIII
A. Gestetner, Ltd.ª . . . . . .
Ahlers, Lindley, Ltd.ª XVI
António Baró XXXIII
Azevedo & Pessi, Ltd.ª V

B

Bethlehem Steel XXIII
Blackwood Hodge XXXIV
Bouhn & Irmão, Ltd.ª XXXIII

C

Canelas & Figueiredo, Ltd.ª XIV
Casa Jean Demoustier . . . . . .
Cimento Secil . . . . . 2.ª da capa
Companhia «Cimento Tejo» . . . . .
Companhia de Cimentos Brancos . . III
Companhia Portuguesa de Fornos Eléctricos . . . . . .
Companhia União Fabril X
Construções Técnicas, Ltd.ª III
C. Santos, Ltd.ª . . . . . XXVI, XXXV

E

Edouard Dalphin . . . . . 4.ª da capa
Electro-Arco, Ltd.ª . . . . . 2.ª da capa
Emílio de Azevedo Campos & C.ª, Ltd.ª VI
Empresa de Cimentos de Leiria . . . XXVII
Empresa de Produtos Asfálticos . . . XXXI
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Ltd.ª . . . . . 3.ª da capa

F

Fábrica de Porcelana da Vista Alegre, Ltd.ª XXVII
Fábrica Metalúrgica e Construtora CARAVELA, Ltd.ª XXIV
Fábrica Portugal XXV
Fundição e Construção Mecânicas XXVIII

G

General Electric Portuguesa XX

H

Henriques & Castro, Ltd.ª VIII

I

INEL XV
IST . . . . . .

J

Pág.

Jayme da Costa, Ltd.ª . . . . . .
J. E. Michaëlis de Vasconcellos (Eng.º) XVII
J. J. Gonçalves, Sucrs. . . . . . .

L

Leacock (Lisboa), Ltd.ª XI

M

Manil VIII
Máquinas de Precisão, Ltd.ª X
Martin, Leslie & C.ª Ltd. XXXIII
Monteiro Gomes, Ltd.ª . . . . . XXIX, XXXII

N

Nordberg . . . . . .

P

P. Bellasi . . . . . .
Pestana & Fernandes, Ltd.ª X

S

Senna, Botto & Leitão, Ltd.ª XXII
SKF XVII
SMEIA . . . . . IV, XXX
Sociedade Comercial Crocker Delaforce & C.ª XXI
Sociedade Construtora Portuguesa, Ltd.ª I
Sociedade Ericsson de Portugal, Ltd.ª II
Sociedade Industrial Metalúrgica .
Sociedade dos Mármores de Portugal, Ltd.ª . . . . . .
Sociedade Portuguesa Cavan . . . . 2.ª da capa
Sociedade Portuguesa do Acumulador Tudor . . . . . .
Socony-Vacuum Portuguesa . . . .
SOFAI, Ltd.ª VII
SOMEC . . . . . .
Sondagens Ródio, Ltd.ª XXXI
SOPECATE XXXI
Standard Eléctrica XII

T

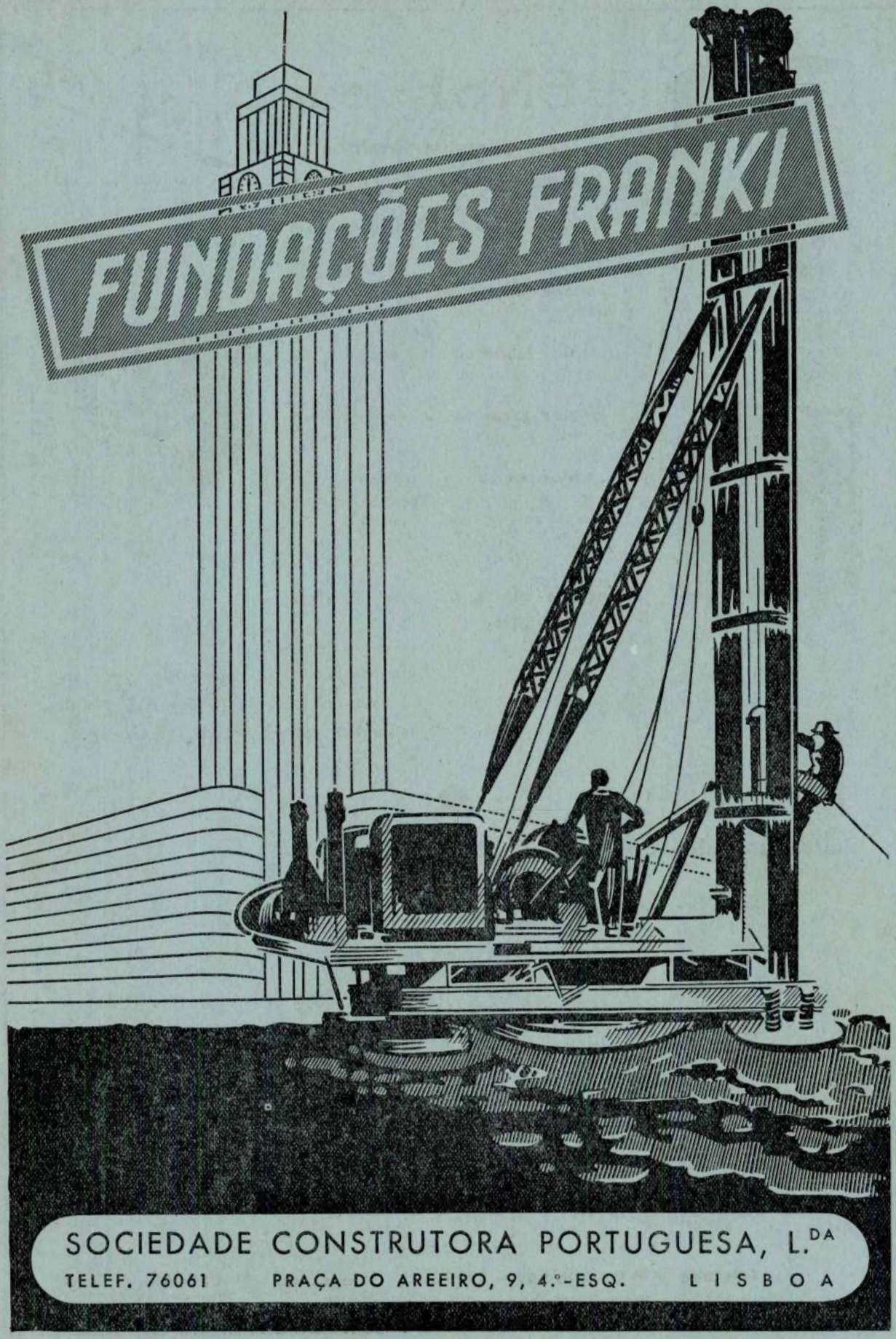
Techonoimpexo . . . . . XVIII, XIX

U

União Eléctrica Portuguese . . . . .

V

V. T. Martins XXVIII


FUNDAÇÕES FRANKI
SOCIEDADE CONSTRUTORA PORTUGUESA, L.DA
TELEF. 76061
PRAÇA DO AREEIRO, 9, 4.º-ESQ.
LISBOA

Relógio semi-automático de Ponto

PENSE em Ericsson

...para controlar melhor o tempo de seus empregados

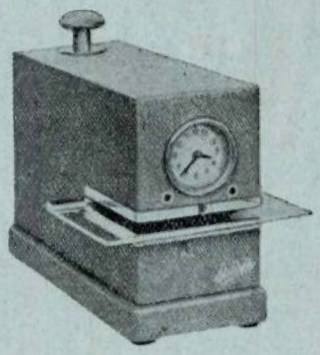
Os relógios de ponto Ericsson proporcionam :

Maior exactidão no controle de pontualidade e frequência.

Maior facilidade na preparação das folhas de pagamento.

Maior garantia para empregados e dirigentes na verificação da assiduidade.

Maior economia de tempo e pessoal no controle do ponto : amortização mais rápida do custo de sua aquisição.



Relógio de tarefa para controlar com exactidão os custos de «mão de obra»

Relógio automático de Ponto

Peça a visita de um técnico da Ericsson.

Sem o menor compromisso, pode obter todas as informações e detalhes sobre os Relógios de Ponto ou sobre quaisquer outros produtos Ericsson.

◆

Outros produtos Ericsson :

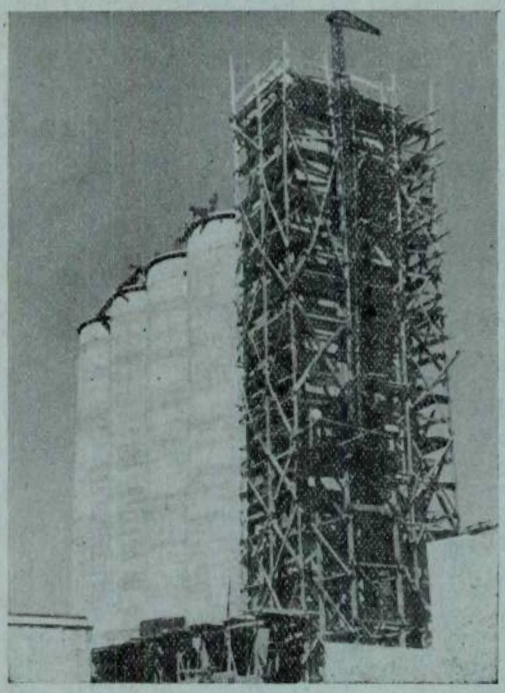
- Sistemas telefónicos de todos os tipos
- Sistemas de telesinalização
- Sistemas de radiocomunicações e sonorização
- Diversa aparelhagem telefónica e eléctrica

SOCIEDADE ERICSSON DE PORTUGAL, L.DA

RUA FILIPE FOLQUE, 7, 1°

LISBOA

Telefone (P P C - 2 linhas) — 57193 • Telegramas: ERICSSON



Silo no Redondo
para o Ex.mo Sr. José Martins da Silva

Execução das células com moldes deslizantes
sistema «Prometo»

CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, L.DA

Praça do Município, 13, 3.º — LISBOA — Telefone 2 2344

FUNDAÇÕES

BETÃO

ARMADO

OBRAS

PÚBLICAS

O EMPREGO DO CIMENTO BRANCO...

permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos

Estude a vantagem do emprego do

CIMENTO BRANCO LUSO

CIBRA

Consulte os distribuidores gerais

No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 2 0464 — Lisboa

No Norte: **SCIAL** — R. do Bonjardim, 205 — Telef. 2 5779 — Porto

A pá mecânica CATERPILLAR HT4 escava e carrega terra e pedras, podendo trabalhar, também, como bulldozer.

É, pela sua economia e alto rendimento, a máquina ideal para abrir fundações destinadas à construção de prédios.

A possibilidade de utilizar baldes especiais, para fins vários, e de capacidades diferentes que vão de 0,6 m^3 a 1,90 m^3, permite classificá-la como máquina de grande versatilidade.

A sua robustez e alta qualidade são garantias suficientes para uma longa vida de trabalhos pesados com um gasto mínimo em despesas de conservação.

É esta a opinião dos empreiteiros que, em Portugal, utilizam já as pás mecânicas **Caterpillar** nos seus trabalhos.

CATERPILLAR

MARCA REGISTADA

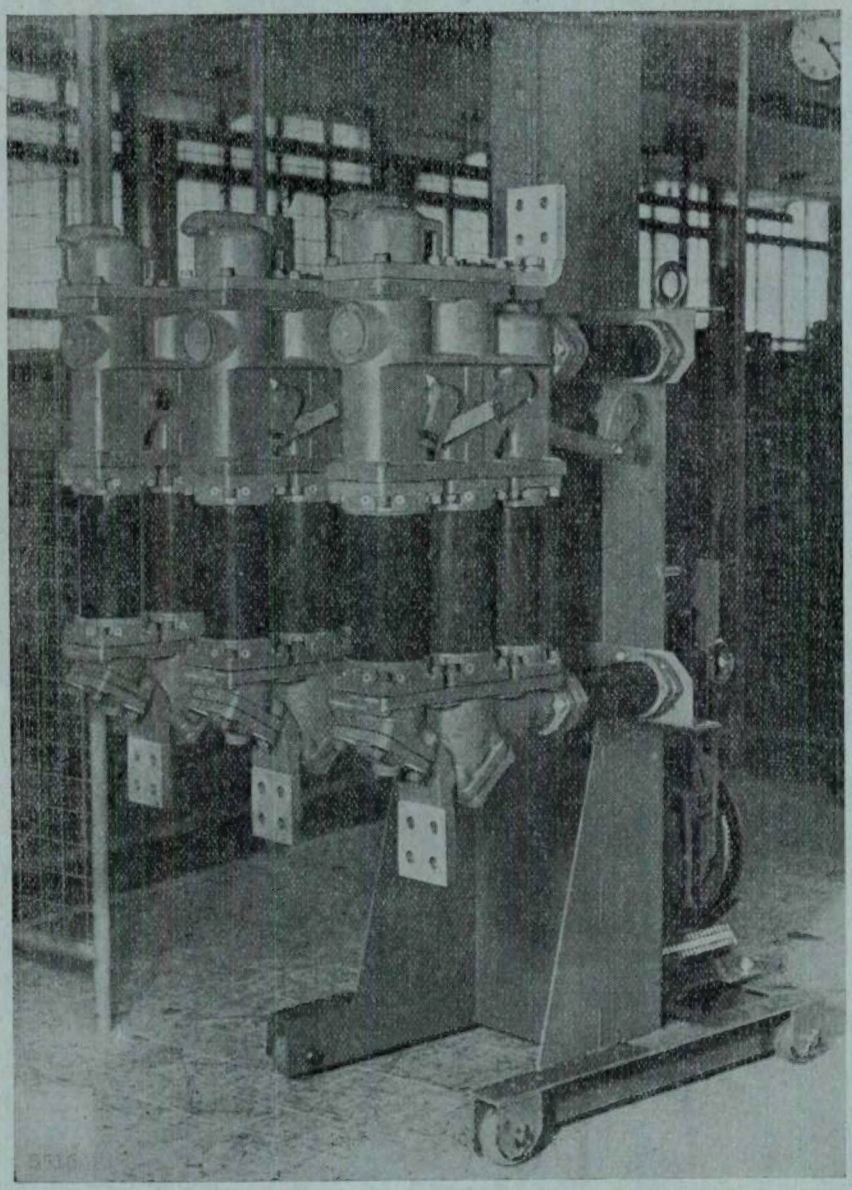
REPRESENTANTES EXCLUSIVOS

SMEIA

SOCIEDADE DE MECANIZAÇÃO INDUSTRIAL E AGRÍCOLA. S. A. R. L.

Avenida Padre Manuel da Nóbrega, 8 LISBOA

SPRECHER & SCHUH



DISJUNTORES

ORTOJECTORES

DE QUALIDADE!

DISJUNTOR HP 6/4e
2500 A
500 MVA, 10 kV

EM ARMAZEM PARA ENTREGA IMEDIATA

REPRESENTANTES

AZEVEDO & PESSI, LDA.

RUA NOVA DO ALMADA, 46 — LISBOA

Telef.: 24495 — 29879 — 20354

ARISTO

FAMOSAS
RÉGUAS DE CÁLCULO
FABRICO ALEMÃO

APRESENTA

A maior variedade de sistemas em modelos de bolso, escritório e de parede

As réguas de cálculo

ARISTO

são precisas, resistentes, práticas e modernas

Encontram-se à venda em Portugal nas principais casas da especialidade

TAQUEÓMETROS **KERN**

FABRICO SUÍÇO

Para obtenção de melhores resultados finais de medidas

— PARA UM TRABALHO —

mais simples, mais rápido, mais preciso e... menos árduo!

Numa grande variedade de modelos

DK 1 e DKM 1

DK 2, DKM 2, DKM 2-U, DKM 2-T e DKM 3

e os modelos Auto-Redutores

DK-RT, DKM-R e DK-R

Sempre em armazém para entrega imediata

REPRESENTANTES GERAIS PARA PORTUGAL

EMÍLIO DE AZEVEDO CAMPOS & C.ª, L.DA

CASA FUNDADA EM 1854

SEDE: Rua de Santo António, 137-145 — PORTO — Tel.: 20254/5

FILIAL: Rua de Antero do Quental, 17-1.º — LISBOA — Tel.: 53366

EIS O COMPORTAMENTO DOS APARELHOS

"TROCKEN-TOTAL"

USANDO PÓ QUÍMICO "TOTALIT"

na extinção de incêndios de grandes proporções

FABRICO ALEMÃO DA:

TOTAL — KOM. CES. FOERSTNER & CO.

Demonstração da eficiência do aparelho "Trocken-Total" mod. P 100, actuando na extinção de um incêndio de gasolina injectada a grande pressão para um tubo de ferro perfurado a todo o seu comprimento, cerca de 10 m. Note-se a possibilidade de aproximação do fogo, pela nuvem isoladora formada pela expulsão do pó "TOTALIT"

VANTAGENS:

Extingue por isolamento

Devido à nuvem de pó permite a aproximação

Próprio para todas as classes de incêndios, inclusivé altas tensões

O pó 'TOTALIT' é indiferente ao tempo (inalterável)

Inofensivo ao homem, animais ou materiais

RÁPIDOS
EFICIENTES
E SEGUROS

Representantes exclusivos em Portugal Continental e Ultramarino:

SOCIEDADE FORNECEDORA DE ACESSÓRIOS INDUSTRIAIS

SOFAI, L.DA

AVENIDA JOÃO XXI, N.º 20 C

LISBOA

TELEFONES:
77 14 95
76 30 60

MANIL

EXPORTAÇÃO · IMPORTAÇÃO

Sede: **Paço d'Arcos** – Av. Voluntários da República – Tel. 262 P. A.

CONSTRUÇÃO CIVIL

SERRAÇÃO E CARPINTARIAS MECÂNICAS
MADEIRAS E TACOS TRATADOS

Depósitos: CASCAIS — ESTORIL
PAÇO D'ARCOS — PAREDE

As oficinas estão apetrechadas com os maquinismos mais modernos e com estufa para secagem e tratamento de madeiras

TRABALHANDO PARA O FUTURO

RESISTÊNCIA E DURAÇÃO

UM PRODUTO DA

AS TINTAS CEMPEXO EMBELEZAM E PROTEGEM OS EDIFÍCIOS

PORQUE SÃO

HIDRÓFUGAS

E

PETRIFICANTES

DISTRIBUIDORES EM PORTUGAL

HENRIQUES & CASTRO, Lda.

AVENIDA CONDE DE VALBOM, 96
LISBOA

TELEF. 77 5057

RUPTAIRS

AS

* Corte em carga dos circuitos

ASD

* Corte em carga dos circuitos
* Protecção contra sobrecargas

AS-FP

* Corte em carga dos circuitos
* Protecção contra sobrecargas
* Protecção contra curto-circuitos

3 séries de aparelhos autopneumáticos abrangendo um largo domínio de utilização.

Facilidades de montagem:

* Estes aparelhos podem ser dispostos como um simples seccionador.

Vantagens:

* desnecessária a instalação de ar comprimido e óleo.

Ateliers de Constructions Electriques de

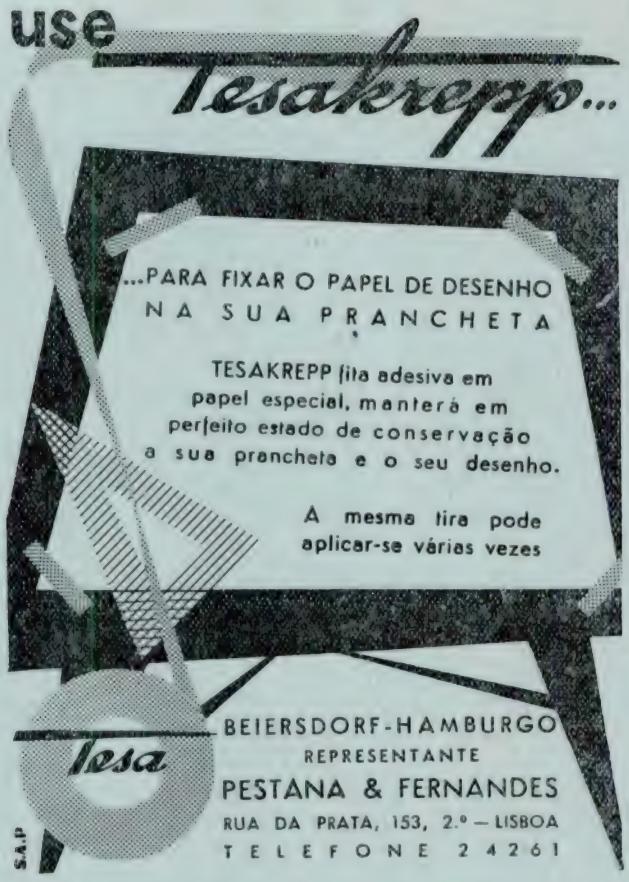
DELLE

Société à Responsabilité Limitée. Capital 400.000.000 Fr
25, Chemin de Cyprian - Villeurbanne (Rhône)

DELEGADOS EM PORTUGAL

AGÊNCIA GERAL DE MATERIAL ELÉCTRICO, L.DA

Rua dos INDUSTRIAIS, 4, 1.º às Cortes) // LISBOA // Telefs. 66 06 92 - 66 60 82



Companhia União Fabril

Sede: Rua do Comercio, 49

LISBOA

O MAIOR AGRUPAMENTO INDUSTRIAL DA PENINSULA IBÉRICA

Fábricas em:
Alferrarede, Barreiro, Canas de Senhorim, Lisboa, Mirandela, Óbidos, Porto, Soure e Vila Nova de Gaia.

Superfosfatos, Sulfatos de Cobre, Enxofre, Sabões, Acidos, Oleos industriais e alimentares, Azeites, Torteame, Sacarias, Grossarias, Fios, Carpetes e Mangueiras.

Oficinas de:
Construções metalicas, Mecânica geral de Automoveis e Engrenagens

Fundição de:
AÇO, FERRO E OUTROS METAIS

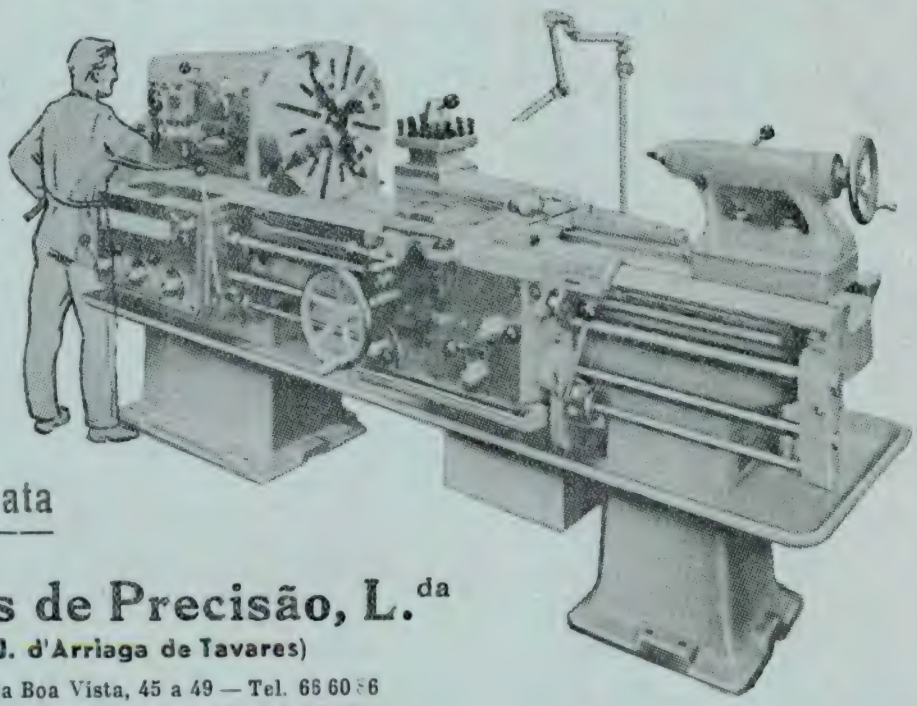
Construção Naval

(Arrendataria do estaleiro naval da A. G. P. L.)

Metalurgia de Ouro e Prata — Refinação electrolitica

MÁQUINAS FERRAMENTAS DE QUALIDADE

Tornos Paralelos
Limadores
Engenhos Radiais
Máquinas de Rectificar
Tornos Revólver
Frezas
Escateladores
Plainas
Mandriladoras



Entrega Imediata

Máquinas de Precisão, L.da

(Eng.º J. d'Arriaga de Tavares)

LSBOA: Rua da Boa Vista, 45 a 49 — Tel. 66 60 36
PORTO: Rua Sá da Bandeira, 629 — Tel. 28720
LUANDA: Rua Restauradores de Angola, 68, 1.º

LEACOCK (LISBOA), L.DA

AV. 24 DE JULHO, 16 — LISBOA

R. JOSÉ FALCÃO, 185 — PORTO

SECÇÃO DE MÁQUINAS E ELECTRICIDADE

REPRESENTANTES DE:

THE RAWLPLUG COMPANY, LTD.
Material de fixação para construção civil e mecânica.

HOOVER, LTD.
Motores eléctricos desde 1/8 até 3/4 H. P., Monofásicos e Trifásicos.

VERITYS, LTD.
Motores eléctricos desde 1 até 125 H. P

J. A. CRABTREE & CO. LTD.
Material para instalações de luz: interruptores, fichas, tomadas, etc.
Material para instalações de força: arrancadores, disjuntores, caixas, etc.

TRANSFORMERS & WELDERS, LTD.
Transformadores de todos os tipos até à potência de 3000 K. V. A. e até à tensão de 33000 Volts.

BARTON CONDUITS, LTD.
Tubo de aço para instalações eléctricas.

EDWARD MAC BEAN & CO. LTD.
Tubo, fita e pano de tela envernizada.

MEASURING INSTRUMENTS (PULLIN), LTD.
Amperímetros, Voltímetros, Frequencímetros, Wattímetros de todos os tipos e escalas.

F. PERKINS, LTD.
Motores Diesel marítimos.

THE AUTOMATIC COIL WINDER AND ELECTRICAL EQUIPMENT CO, LTD.
Osciladores, capacímetros, texts universais, texts electrónicos, analisadores de válvulas, luxímetros, expositores para fotografias.
Máquinas para bobinar e enfitar.

GEORGE KENT
Contadores de água, de vapor e de óleo.
Tubos Venturi
Determinadores e controladores do pH, do CO_2 e pirómetros pelo processo potenciométrico.
Combustiómetros, manómetros, registadores de distâncias, medidores-registadores de caudais, medidores de orifícios em condutas para gases.

THORN ELECTRICAL INDUSTRIES, LTD.
Luz fluorescente e rádios.

ELECTRIC PANELS, LTD.
Aquecimento eléctrico.

Standard Electrica

ASSOCIADA

DA

"INTERNATIONAL TELEPHONE & TELEGRAPH CORPORATION"

PROJECTOS — FORNECIMENTOS — INSTALAÇÕES

— Material de radiocomunicações para todas as aplicações em média, alta, muito alta e ultra-alta frequência;

— Equipamentos de radiodifusão e televisão e respectivo material de estúdio e acessórios;

— Sistemas de antenas para aplicações gerais e especiais para radiocomunicações, radiodifusão e televisão;

— Instalações de comutação telefónica, manuais e automáticas, de todos os sistemas e capacidades. Sistemas de comunicações por fios em altas frequências;

— Materiais de transmissão telegráfica automática, por fios e por rádio;

— Sistemas de sinalização e de comando, automáticos e manuais, intercomunicadores, amplificadores e aparelhagem acessória;

— Cabos e acessórios de todos os tipos, para energia, comunicações e altas frequências;

— Rectificadores de selénio de tipos especiais e gerais para todas as aplicações.

Serviços Técnicos, Comerciais e Fábrica

NA AVENIDA DA INDIA — LISBOA

TEL. 38171/6

telefones · radio · cabos

TÉCNICA

DIRECTOR — FERNANDO MARQUES DE OLIVEIRA ADMINISTRADORES { VIRGÍLIO DOS REIS CARDOSO IGREJA / JOSÉ DO SACRAMENTO COSTA

CORPO REDACTORIAL — ADELINO JOSÉ SOARES DE MELO, JOÃO PEDRO MOTA E MELO, MANUEL M. FRIAS DE ALMEIDA E SÁ E VIRGÍLIO LOPES CABRITA

Ano XXIX - N.º 246 Novembro de 1954

Como é do conhecimento dos nossos leitores, encontram-se esgotados muitos números da «Técnica» nos quais se inserem artigos de interesse excepcional.

Por isso, se decidiu publicar, em reimpressão, quatro epítomes da autoria do Sr. Prof. Doutor Mira Fernandes, os quais por terem sido publicados, pela primeira vez, em 1929, ficam assim ao alcance da grande maioria dos nossos leitores.

Ao ilustre Mestre que gentilmente nos cedeu os exemplares dos opúsculos, os nossos mais respeitosos agradecimentos.

A DIRECÇÃO

C. D. 37.015

CURIOSIDADE E VOCAÇÃO

São agentes indispensáveis de toda a formação espiritual. Na sua acção, não se equivalem nem se substituem; antes se completam e conjugam.

A primeira é uma atitude; a segunda uma qualidade. Por isso, a curiosidade se promove e a vocação se cultiva. A curiosidade, como desejo de saber, é um estímulo da vocação; esta, como dom natural, pendor inato do espírito, simplifica o esforço e aumenta o rendimento da curiosidade. Não há vocação que a falta de curiosidade não invalide, nem há curiosidade que a insuficiência de dons não aniquile; mas também, não há propensões ingénitas que o zelo não apure, nem tibiezas de interesse que a aptidão não alente.

Em face duma teoria ou dum facto científico, a curiosidade *é despertada* pela essência das doutrinas, pelo atractivo dos conceitos, pela conexão dos raciocínios, pela harmonia, pela simplicidade ou pela elegância da sua estruturação; mas *é animada* pelo êxito do esforço dispendido, pela advertência de habilidade própria, pelo sentimento de capacidade, que a negligência e a inércia podem, de princípio, adormentar, mas que a perseverança acaba sempre por desentorpecer.

No seu poder de animador da curiosidade está uma das mais preclaras virtudes do mestre. É uma ciência e uma arte. Procede simultâneamente, do seu saber e do seu sentir; do seu talento e da sua sinceridade; do seu engenho em expor a verdade, em anunciar a ilação, em acentuar o contraste ou a analogia, em sugerir a iniciativa. Acrisola-se na consciência da sua força e sustenta-se do prestígio do seu exemplo.

A vocação revela-se, às vezes, com a espontaneidade e a pujança do génio; segura, exuberante, irresistível. Não a geraram ensinamentos, nem a reprimem embaraços. Tem o cunho da omnipotência e o estigma da fatalidade. Muitas mais vezes, porém, é necessário descobri-la, encaminhá-la, engrandecê-la. E, no conseguimento deste desígnio, há muita ilusão que desfazer, muita aparência que sondar, muita obstinação que esclarecer; mas também não faltam desânimos, que é preciso encorajar, dúvidas que é indispensável suprimir, acanhamento que é forçoso combater.

Ao mestre incumbe, ainda, grande parte desta tarefa: sem precipitações que desmoralizem, nem disfarces que iludam; com a delicadeza duma advertência que não aspira a mandamento; com a lealdade dum conselho que não quere parecer uma imposição. Que a consciência o não acuse de ter malogrado a exaltação do mérito, o que é um sacrilégio; nem o acoime de ter alimentado a fermentação do delírio, o que é uma hipocrisia.

INICIATIVA

Como norma de raciocínio e como regra de acção, *determinar-se* na escolha dos métodos, *decidir-se* na opção dos meios, são as mais delicadas funções do engenho humano. Se há um fim prèviamente assinado ao nosso esforço, reconhecidamente atingível por anterior experiência ou concludente demonstração, não deve dispensar-se a antecipada crítica dos meios profícuos, cuja eficiência é não raras vezes deslustrada e obscurecida por insanáveis imperfeições; nem deve desprezar-se a intuição de novos métodos, cujo êxito pode ser uma origem fecunda de proveitosos ensinamentos. Se o intento nunca foi atingido, há que inventar os caminhos que a ele conduzem, ou que demonstrar a impossibilidade de o obter; invenção muitas vezes dependente de novos elementos que é necessário criar, demonstração que é um novo propósito, quase sempre difícil de conseguir.

Outras vezes, porém, o destino é incerto; no campo da acção, porque a vontade não encontrou ainda suficientes razões para se decidir; no campo especulativo, porque um avisado e judicioso confronto dos factos conhecidos não sugeriu ainda a possibilidade de existência de novas relações, cuja investigação desperte a nossa curiosidade e promova o nosso esforço. E então, as suas determinantes, são, quási sempre, a análise profunda e solerte dos conceitos e das formas existentes, o exame minucioso das suas analogias e contrastes, a inquirição das suas origens, a crítica das suas ilações.

Sem essa análise, não teria Ampère reconhecido a possibilidade e conveniência de autonomizar a cinemática, dentro da mole imensa de factos e teorias que era já a mecânica do seu tempo. Sem esse exame, não teriam nascido, das clássicas concepções de Fresnel e Newton, as modernas teorias quânticas. Sem essa inquirição, não ocorreria ao espírito de Klein a ideia genial duma classificação sistemática das geometrias holónomas, subordinada à noção de grupo. E, finalmente, sem essa crítica desassombrada e demolidora de velhos preconceitos, não existiria ainda a mecânica relativista.

Só de longe em longe um conceito novo, sem conhecida ascendência imediata, preciosa gestação dum espírito iluminado, vem enriquecer, pela fecundidade do seu contexto e pela extensão dos seus domínios, a aparelhagem do investigador.

Criou-o um momento feliz de inspiração, revelou-lhe a pujança a mesma fertilidade das suas consequências, consagrou-lhe os méritos a generalidade com que se adapta a doutrinas diversas, até então insuspeitas de correlação e parentesco. Será necessário mencionar, como exemplos, o conceito de aceleração e o conceito de grupo?

A propósito da invenção matemática, diz Poincaré, numa das mais belas páginas de *Science et Méthode*, que *em vão se procuraria substituir por um processo mecânico a livre iniciativa do matemático.* Porquê? Porque a máquina poderá ter, quando muito, uma capacidade ordenadora; mas há-de escapar-lhe sempre a *alma* dos factos.

Outro tanto poderá dizer-se de toda a iniciativa. Ela é tão insubstituível instrumento de selecção de valores, como indispensável agente de investigação da verdade; tão precioso utensílio de invenção, como inestimável arma de crítica. É ela que promove, no campo das ideias, as aproximações e confrontos dos quais tantas vezes surgem novos conceitos e novos métodos. É a ela também que incumbe dirimir, no campo dos sentimentos, o eterno pleito do bem e do mal. E se, para que seja possível promover e constatar aquela aproximação de ideias, importa ter conhecimentos, para resolver o litígio moral com honesto propósito, importa ter virtudes. Sòmente, os erros e prejuízos duma desacertada iniciativa não têm, num e noutro domínio, comparáveis quilates, porque não possuem iguais possibilidades de emenda e reparação.

No campo especulativo (comprova-o, com numerosos exemplos, a história da ciência) é muitas vezes a verificação do erro que sugere iniciativas fecundas. No campo moral, o erro é quási sempre origem de insanáveis males; por isso, a iniciativa não dispensa o aplauso da consciência. Se esta o recusa, há que rejeitá-la; se ela apenas hesita em concedê-lo, por insuficiência de elucidação, a melhor iniciativa é *esperar*.

CONVENCER

O poder de convicção, como qualidade docente, é um delicado complexo de atributos, uns naturais, outros adquiridos, todos eles susceptíveis de aperfeiçoamento e cultura. A *clareza* no enunciado das proposições, a *correcção* no desenvolvimento dos raciocínios. o *vigor* insinuante da exposição, o *interesse* que se revela para se transmitir, a *sobriedade* que se disciplina para não cançar, são outros tantos agentes de convicção do auditório. Saber dar realce ao que é essencial, sem desnecessário encarecimento, nem imprudente menosprezo dos acidentes que esclarecem ou confirmam a verdade; reduzir ao mínimo o esforço de atenção dos ouvintes, captando-a e encaminhando-a, tanto quanto possível, por um suave pendor de curiosidade, são virtudes de alta valia na arte de convencer. E, como todas essas qualidades e virtudes da acção docente são relativas à índole e condição cultural do meio em que se exerce, é indispensável saber constatar, a todo o instante, com perspicaz engenho, a sua proficuidade.

Há que reconhecer, na atitude dos discípulos, quais são os elementos do raciocínio em que é necessário insistir, para mais completo esclarecimento da verdade, ou para maior destaque dos seus fundamentos. Há que presentir o declínio da atenção, para a despertar oportunamente com o relevante interesse dum conceito, ou para a deixar descançar na curiosidade dum incidente. Há que revelar na elocução evidentes sinais de sinceridade e no raciocínio manifesta segurança de opiniões. É necessário saber escolher o ensejo de exemplificar e traduzir no exemplo a utilidade da especulação doutrinária. Se o raciocínio tem requintes de abstracção, é proveitoso recordar com frequência, embora sem quebra de oportunidade, as suas grandes linhas; e resumir com simplicidade, mas sem faltas de rigor, as suas conclusões. Se a matéria é árida, convém acentuar-lhe o interesse, inculcando-lhe os méritos; se é atraente, importa sofrear precipitações de assentimento e reprimir imprudências de ilação; se é controversa, é preciso apontar-lhe com sinceridade as objecções e contradizer lealmente os seus adversários. No exercício da função docente, para se ser honesto na intenção de convencer, é necessário estar convencido. Não me atrevo a dizer que seja suficiente porque, quem ensina, tem o dever de aliar à nobreza dos ideais o sentimento das realidades; à crença, as responsabilidades do sacerdócio.

AUTORIDADE

Nas relações entre mestres e discípulos, a *autoridade* não é atributo conferível pelo simples exercício da função. Desse exercício resultam apenas, para uns e outros, direitos e deveres.

Do cumprimento escrupuloso desses deveres e do comedido uso desses direitos dimana a autoridade; sem ser necessário que aquele escrupulo tenha as impecáveis características de rigor duma demonstração geométrica, nem ser, a nenhum título, louvável que este comedimento tenha a desoladora aparência duma abdicação. Na observância do dever, o rigor é um ideal que a imperfeição humana não atinge; na invocação do direito, a sobriedade é uma virtude que a nobreza moral não dispensa. Porque é necessário descontar nos direitos da própria personalidade as insuficiências da sua perfeição.

A autoridade do discípulo apoia-se inicialmente no seu empenho de aprender; porque se esse empenho claudica, diluindo-se na aspiração mais forte dum diploma, mal vai à sua sinceridade; se enfraquece, atenuado pelo desleixo, mal vai aos seus deveres; se o anula ou perverte a descrença, mal vai à firmeza do seu zelo ou à consciência dos seus direitos. A essa autoridade fortalece-a a diligência de colaborar e confirma-a o desejo de inquirir. Dá-lhe força a moderação com que se mostra e brilho a penumbra em que se esconde. Quanto mais hesita em se exprimir, menos se arrisca a ofender. E se a prudência pode às vezes comprometer os seus benefícios, não pode a cortezia obscurecer as suas razões. O que é indispensável é que a não macule uma torpeza, que a não desonre uma traição, que a não avilte uma calúnia, que a não enegreça uma cobardia.

A autoridade do mestre resulta da evidência e continuidade do seu esforço, do acerto do seu método, do interesse da sua exposição, da extensão da sua cultura, do vigor da sua inteligência: mas não procede menos do equilíbrio das suas faculdades de julgador, da sinceridade do seu desejo de ensinar, da lealdade do seu trato, da compostura do seu porte. É atributo dos seus méritos e consequência dos seus actos; apanágio dos seus talentos e galardão de suas virtudes. Não a promove o desejo próprio, nem a tolhe a vontade alheia; antes o primeiro, por desvairada ambição a deprime e a segunda, por injusta afronta, a engrandece. Exalta-a a própria negligência de se afirmar, nobilita-a a mesma dúvida de se reconhecer. E, se a não empalidece a injúria, também a não acrescenta a lisonja. Por isso mesmo, é dom que se não confére, qualidade que se não ostenta, riqueza que se não furta.

C. D. 669.1 (469)

A SIDERURGIA EM PORTUGAL: UM PROGRAMA

PELO ENG.º MAQ. (I. S. T.) A. NOBRE DA COSTA

O presente artigo é um extracto de um relatório feito pelo autor, que é Director da Fábrica de Cimentos «Liz», da Empresa de Cimentos de Leiria, e que se destinou a apreciar nas suas linhas gerais o problema siderúrgico nacional.

INTRODUÇÃO

É nosso objecto apresentar, nas páginas que se seguem, o programa para a instalação de uma indústria siderúrgica em Portugal.

Este programa, uma vez definidos alguns pontos que teremos necessàriamente de deixar em aberto, permitirá aos especialistas a elaboração do projecto definitivo de construção e instalação da indústria.

Para o estudo das bases da nossa indústria, ou sejam as matérias-primas e factores geográficos e económicos, dispomos já de bastantes dados, visto que muito se tem escrito sobre as matérias-primas nacionais que podem eventualmente interessar à siderurgia, e sua localização, sendo por isso possível tomar decisões de carácter geral quanto ao emprego dessas matérias-primas.

Embora no que diz respeito a alguns dos jazigos mais importantes existam poucas publicações oficiais, pudemos basear o nosso estudo sobre relatórios particulares, que, no entanto, nos oferecem as mesmas garantias dos relatórios oficiais quanto à veracidade das suas conclusões.

Será ainda necessário, provàvelmente, proceder a alguns ensaios de matérias-primas, em escala industrial, nomeadamente os minérios de ferro, a fim de se ter de antemão a certeza sobre os resultados da sua aplicação, mas julgamos que podemos desde já prever, com suficiente segurança, os resultados destes ensaios, não sendo pois de esperar que eles possam trazer surpresas desagradáveis.

Os nossos minérios não são muito diferentes dos que são hoje em dia usados em muitos países onde existe a siderurgia, e se bem que eles não sejam excepcionalmente ricos, verdade é que estão muito acima dos mais pobres.

O consumo de ferro e aço do país também é conhecido, e a previsão do consumo nos próximos anos será possível efectuar com suficiente aproximação, para poder servir de base de discussão.

Quanto ao método ou processo de fabrico, temos de considerar que uma instalação siderúrgica se pode dividir essencialmente em três partes, correspondentes a diferentes fases fundamentais do fabrico:

1) — Preparação dos minérios de ferro e sua redução;
2) — Fabrico do aço por afinação da gusa e de sucatas;
3) — Transformação do aço por laminagem em produtos laminados.

Teremos desde logo possibilidade de estudar a terceira fase desta fabricação, que será quase completamente independente das soluções adoptadas para as outras duas. Esta independência, embora não seja total, permite sem prévio conhecimento do método de fabrico dos lingotes de aço, desde que estes satisfaçam os requisitos normais de qualidade, estabelecer o programa de laminagem.

As outras duas fases do fabrico encontram-se muito intimamente ligadas, pois que o método de redução vai quase sempre ditar, ou pelo menos limitar, os métodos de afinação a empregar. Será nestas duas fases do fabrico que se fará sentir a escolha das matérias-primas a empregar.

Existe ainda uma ligação económica muito estreita entre a primeira e segunda fase do

fabrico, pois que, se um determinado processo de redução pode aparentar grande interesse económico, esse interesse só subsiste desde que os processos de acearia correspondentes à segunda fase do fabrico não custem tão caros que anulem essa vantagem. Também por sua vez um processo pode ser menos económico na redução mas apresentar vantagens económicas na transformação em aço que possam contrabalançar o maior custo da primeira fase.

Normalmente, é no entanto no processo de redução que reside o maior problema económico de uma siderurgia, e especialmente no caso português é aí que têm surgido divergências e incertezas entre as pessoas que se têm dedicado ao estudo deste problema. O desejo de tornar, tanto quanto possível, a nossa Indústria Siderúrgica independente das matérias-primas importadas tem levado todos os estudos a darem preferência a soluções baseadas exclusivamente em matérias-primas nacionais. Por este motivo o alto forno a coque, que hoje em dia é utilizado em mais de 90 % das instalações de redução de minérios do mundo, tem sido posto de parte por não poder utilizar os carvões nacionais.

Ainda recentemente no texto do Plano de Fomento foi dito acerca dos possíveis processos técnicos: «... Todavia alguns deles parece deverem ser excluídos: assim o alto forno a coque, generalizadíssimo no estrangeiro, mas que além do mais não aproveitaria os nossos carvões por estes serem insusceptíveis de transformação em coque metalúrgico».

Julgamos que este ponto de vista é discutível e, por isso, o alto forno a coque figurará entre os processos de redução a comparar. Veremos assim qual a sua posição no campo económico relativamente a outros sistemas.

Este mesmo ponto de vista, já a Secção das Indústrias Metalúrgicas e Químicas da Câmara Corporativa defendeu no seu parecer ao Plano de Fomento, dizendo:

«Nenhum motivo defensável justifica, por conseguinte, que se considere imprescindível para a instalação da siderurgia em Portugal, nas bases económicas convenientes, a existência, em território nacional, de todos os recursos que ele tiver de consumir em minérios e carvões. O interesse económico do empreendimento permanecerá, sem a menor dúvida, mesmo que tenha de encarar-se a importação de algumas matérias-primas necessárias à sua exploração».

Sob o aspecto de dependência da nossa indústria das importações, temos que reconhecer *que essa dependência existe em todos os países e para numerosas indústrias,* e nomeadamente na indústria siderúrgica em que, na Europa Ocidental e Américas, os principais produtores são altamente dependentes de outros países. Veremos adiante que possibilidades haverá de resolver as dificuldades em caso de guerra ou outra emergência que não permita o abastecimento no estrangeiro.

Achamos pois que esta solução deve também ser estudada juntamente com aquelas que empregam maior percentagem de matérias-primas nacionais, e que se deve ter bem presente o problema de *saber se é acertado sacrificar econòmicamente uma indústria durante numerosos anos de vida normal, só para se estar preparado para uma emergência que poderá nunca se dar,* ou dar-se com violência tal que, dos males a sofrer, um dos menores poderá ser a dificuldade de importação de certos produtos!

Outro ponto que nos vai merecer especial atenção neste nosso estudo é a previsão do aumento futuro das instalações. Com efeito, a solução siderúrgica que se adoptar para este primeiro escalão em que a produção será de cerca de 150.000 t anuais, pode não ser a mesma que haja interesse em adoptar mais tarde à medida que se for ampliando a Indústria. No entanto, o estudo deve já ser feito de modo a que, na medida do possível, se prevejam quaisquer alterações que possam vir a ser necessárias, e que não se adopte agora solução que mais tarde seja completamente inadequada ao conjunto siderúrgico.

Finalmente desejamos sublinhar que se nos afigura desnecessário fazer uma descrição completa dos diversos sistemas metalúrgicos que iremos discutir, pois todos eles são hoje em dia já conhecidos através de livros e publicações diversas, algumas mesmo em português, e a sua descrição detalhada poderá até tornar a leitura deste relatório repetitiva, sem por isso resultar a exposição mais informativa. No entanto apresentamos resumo esquemático das principais operações de cada processo e discutiremos os rendimentos, possibilidades e limitações das várias hipóteses consideradas, fazendo-se a discussão dos processos químicos ou mecânicos

respectivos sempre que ela possa ser chamada a esclarecer qualquer ponto especial.

Também não faremos um estudo detalhado e para cada caso, dos vários leitos de fusão possíveis. Vamos considerar as condições que nos pareçam mais indicadas e tomá-las como base de comparação dos diversos processos.

Mais tarde, uma vez escolhido o processo siderúrgico a empregar, será então necessário fazer o cálculo do custo do ferro para os diversos leitos de fusão possíveis.

Dado que não podemos deixar de considerar essencial que a solução siderúrgica a adoptar *seja já largamente conhecida e experimentada, só consideraremos neste estudo os processos perfeitamente conhecidos.* A aplicação de processos novos ao caso Português deve ser abandonada desde já, pois que as consequências de experimentações em larga escala, num país que se lança numa nova indústria, podem ter as mais perigosas consequências para o êxito do empreendimento.

Partamos pois dos processos bem conhecidos e, mesmo assim, ponderemos cuidadosamente se as condições de aplicação no caso Português se assemelham às condições locais em que esses processos estão a ser usados.

1 — BASES DA SIDERURGIA PORTUGUESA

A) — Matérias-primas nacionais

I — Minérios de ferro

Dada a extensão que apresenta, mesmo sob forma resumida, o estudo dos minérios de ferro nacionais, não faremos aqui a sua discussão. Quer através de elementos oficiais, quer de relatórios particulares, pudemos no entanto obter dados suficientes para base do estudo siderúrgico nacional.

Sabe-se que o minério existe em quantidades consideráveis, que justificam plenamente o seu aproveitamento quer na indústria siderúrgica nacional, quer na exportação, como aliás já está sucedendo.

Os jazigos de Moncorvo, Orada e Vila Cova já estão parcialmente em exploração, sendo relativamente simples obter um rápido desenvolvimento no ritmo dos trabalhos.

O transporte do minério ainda apresenta algumas dificuldades que, no entanto, poderão de futuro certamente ser resolvidas.

Resumidamente, as reservas conhecidas e prováveis dos diversos jazigos são as seguintes:

Jazigo de Moncorvo:

Reservas certas e prováveis . .	250.000.000 t
Reservas possíveis	300.000.000 t

Jazigo de Vila Cova:

Reservas certas e prováveis (segundo o Dr. Cotelo Neiva)	16.000.000 t
Reservas possíveis	20.000.000 t

— Segundo outros autores, as reservas totais seriam consideràvelmente inferiores.

Jazigo de Guadramil:

Reservas certas	3.500.000 t

Jazigos de Orada:

Reservas certas	2.000.000 t

Jazigo ferro-manganesífero de Odemira e Cercal:

Reservas certas e prováveis . .	3.000.000 t
Reservas possíveis	1.500.000 t

Diversos outros jazigos:

Reservas certas	1.000.000 t

Uma escolha conveniente destes minérios, tendo em linha de conta a sua composição e preço, permitirá estabelecer diversos tipos de leitos de fusão, correspondendo a diversas composições de gusa a fabricar.

O teor em sílica dos minérios de Vila Cova e de Moncorvo é infelizmente elevado, mas não tão elevado que torne impossível a sua utilização. Como felizmente os outros minerais nacionais, embora menos abundantes, têm um baixo teor em SiO_2, é possível conseguir baixar para limites favoráveis o teor do leito de fusão.

Como veremos, dispomos ainda de uma quantidade importante de cinzas de pirite, que convém aproveitar, e que servirá perfeitamente para este fim.

O minério ferro-manganesífero é também de qualidade razoável, e as reservas conhecidas são suficientes para assegurar a produção de gusa durante muitos anos.

Resumindo: os minérios de ferro conhecidos chegam para assegurar a laboração normal da indústria siderúrgica, mesmo com produções anuais muito superiores à agora considerada.

A constituição dos leitos de fusão pode, no entanto, ser ainda consideràvelmente beneficiada pelo emprego de cinzas de pirite.

Cinzas de pirite

As cinzas de pirite constituem na verdade um autêntico minério de ferro, cujo elevado teor em ferro lhes dá qualidades muito importantes. A produção anual no nosso País é de 100.000 a 120.000 t, das quais a maior parte é produzida ao Sul, perto de Lisboa, e uma pequena parte em Estarreja.

Sob o ponto de vista metalúrgico, o principal inconveniente destas pirites reside no facto de o seu teor em cobre ser elevado, o que torna difícil a sua aplicação como matéria-prima única. Resta saber as possibilidades económicas de levar a extracção do cobre destas pirites mais longe do que o que é feito actualmente, melhorando-lhes consequentemente a qualidade. No entanto, desde que se empregue convenientemente doseadas com outras matérias-primas isentas de cobre, é possível corrigir aquele inconveniente.

As reservas conhecidas de pirite no País cifram actualmente cerca de 7×10^6 t que, a manter-se o actual ritmo de exploração, desaparecerão em 10 anos.

Julgamos no entanto que, por um lado a diminuição nas exportações e, por outro, a descoberta possível de outros jazigos, poderão assegurar o abastecimento de pirite por mais largo período de tempo.

Dado o elevado teor em ferro e baixo teor em sílica, é fundamental dar às cinzas de pirite um papel importante na siderurgia em Portugal.

Sucatas

Temos ainda que considerar uma matéria-prima que representará um papel muito importante na nossa siderurgia e que são as sucatas de ferro e de aço.

A produção total do País é, presentemente, de 35.000 t/ano, das quais parte se destina a exportação, sendo o restante consumido por diversas fundições.

Em 1957, data provável de entrada em funcionamento da instalação siderúrgica, deve ser possível adquirir anualmente cerca de 30.000 t de sucatas. Mesmo admitindo que nessa data ainda não haja disponível essa quantidade, como há possibilidade de se ir desde já formando um stock de sucatas — que aliás já existe nos armazéns dos próprios exportadores, visto haver presentemente dificuldade na sua exportação — podemos seguramente contar com 30.000 t/ano a partir da data de início da laboração, tendendo depois este número a aumentar.

As sucatas de «circulação» produzidas na própria laminagem, e que são cerca de 28.000 t/ano, deverão ainda ser utilizadas, como veremos adiante.

CONCLUSÕES

Do exposto se pode deduzir que o jazigo de Moncorvo é na realidade aquele a que está destinado mais importante papel como fornecedor de minério à Siderurgia Portuguesa. As reservas de minério aí são enormes, e muitas vezes superiores às de todos os outros jazigos juntos.

No entanto será certamente necessário utilizar também os minérios de alguns outros jazigos, com que se poderá corrigir o leito de fusão, e muito especialmente as cinzas de pirite, que são afinal um sub-produto de outras indústrias, deverão ser utilizadas na maior escala possível.

II — Carvões

GENERALIDADES

Dos carvões nacionais, são as antracites que apresentam mais interesse relativamente à siderurgia, visto que podem ser utilizadas como carvão de redução em vários processos (forno rotativo, forno eléctrico) e como combustível de aquecimento.

Infelizmente desconhecem-se ainda as verdadeiras possibilidades técnicas e económicas de fabricar um bom carvão de coque a partir das nossas antracites, devendo pois o seu emprego ser analisado principalmente sob os pontos de vista mencionados no parágrafo anterior.

As nossas lenhites poderão eventualmente ser utilizadas também como combustível pulverizado em processos de forno rotativo, mas a sua utilização apresenta vários problemas e não pode ser considerada num estudo preliminar como o presente.

O carvão vegetal, que eventualmente pode ser fabricado em larga escala no nosso País, também pode vir a apresentar interesse como carvão de redução em qualquer dos processos metalúrgicos considerados e nomeadamente no alto forno a carvão vegetal, mas a sua utilização como combustível-base de indústria, apresenta vários problemas.

O coque metalúrgico poderá ser produzido no nosso País desde que se verifique interesse económico na sua produção, que poderá ser feita a partir de carvões importados e nacionais.

Antracites

Computam-se em mais de 30.000.000 de toneladas as reservas de carvão da bacia Duriense, número este susceptível de ser ainda aumentado. Sendo a Mina do Pejão aquela que maior produção tem, e que apresenta as maiores reservas, vamos apenas tomar o carvão Pejão para exemplificar o emprego das antracites nacionais. Isto simplifica, sem tornar menos exacto, o nosso trabalho.

A antracite Pejão, correntemente fornecida à indústria do cimento à razão de mais de 100.000 t por ano, terá de ser fornecida à indústria siderúrgica à razão de 100.000 — 300.000 t por ano, consoante o processo de redução que se venha a adoptar.

Actualmente, a sua análise média é:

Cinzas	23 — 25 %
Mat. voláteis	3 — 4 %
H_2O	3 — 4 %
Carbono	69 — 64 %
Enxofre	0.4 — 1.0 %

Fala-se hoje em obter carvões lavados ou tratados por outro processo, com teores em cinzas inferiores ao indicado. Estes estudos não estão ainda suficientemente esclarecidos para haver certezas quanto aos resultados a conseguir. Certamente que o emprego dos carvões de má qualidade, residuais desta lavagem, na nova central térmica do Douro, podia dar viabilidade económica a este tratamento, mas ignoramos ainda quais as quantidades que venha a ser possível obter.

Em face dos números conhecidos até à data, e nomeadamente do parecer da Câmara Corporativa relativo ao Plano de Fomento, julgamos não se poder contar, de momento, com mais de 150.000 t de carvão anualmente, e com o teor em cinzas vizinho do indicado acima.

Esta quantidade de carvão não seria susceptível de ser aumentada com os anos, pelo que o desenvolvimento futuro da indústria siderúrgica terá provàvelmente de ser feito contando com outros combustíveis.

Carvão vegetal

É muito reduzida, actualmente, a produção de carvão vegetal no nosso País. No entanto, julgamos que o estudo deste combustível dentro do plano siderúrgico nacional apresenta um certo interesse e merece um pouco de atenção.

A produção de uma tonelada de carvão vegetal necessita cerca de 5 toneladas de madeira. Portanto, numa primeira fase da nossa indústria siderúrgica, em que o consumo de carvão vegetal poderia ser de cerca de 100.000 t por ano, seriam necessárias anualmente cerca de 500.000 t de madeira. Este número representa cerca de 15 % da nossa produção anual de madeira verde e, se bem que elevado, não é inadmissível.

Se considerarmos que se trata de madeira de eucalipto, que parece ser a mais indicada para o fabrico de carvão vegetal destinado ao alto forno, teremos que as 500.000 t necessárias correspondem a cerca de 500.000 m^3/ano.

O crescimento dos eucaliptos no nosso País, em terreno adequado e devidamente tratado, pode atingir cerca de 20 m^3/ano × hectare. Seriam pois necessários cerca de 25.000 hectares de área plantada a eucaliptos (ou sejam cerca de 10.000.000 de árvores) para assegurar a produção do carvão vegetal necessário à produção de 100.000 t/ano de gusa.

Como referência, indica-se que a propriedade da Agolada, perto de Coruche, tem cerca de 3.000.000 de eucaliptos plantados.

Esta produção levaria cerca de 10 anos a obter, tendo, durante esse período de tempo, de se recorrer às matas já existentes.

No nosso País o custo deste carvão, mesmo admitindo a plantação relativamente perto da siderurgia (cerca de 50 a 100 kms), deve resultar elevado, embora em determinadas circunstâncias aceitável.

A sua fabricação não apresenta no entanto grandes dificuldades de ordem técnica, pois que os métodos antigos de fornos de medas resultam satisfatórios, embora hoje em dia se comecem a utilizar principalmente fornos especialmente construídos.

Julgamos que em determinadas condições, como por exemplo em caso de guerra, será possível, durante um limitado número de anos, produzir carvão vegetal no nosso País, com fim a utilização na siderurgia. Em qualquer caso, poderemos sempre consumir uma certa percentagem de carvão de madeira, a determinar pela experiência.

No Brasil poderemos certamente encontrar com facilidade o apoio técnico necessário para a organização desta indústria em larga escala.

Carvão de Moatize

Embora as possibilidades do jazigo de carvão de Moatize não sejam ainda completamente conhecidas, sabe-se que o carvão lá existente aparenta ser coqueficável em condições favoráveis. O custo desse carvão, posto em Leixões, deve permitir que ele seja utilizado como matéria-prima para o fabrico do coque, possìvelmente misturado até com carvão Pejão; no entanto, só um estudo mais profundo e detalhado deste problema poderá dar indicações definitivas.

Coque metalùrgico

O coque metalúrgico, que em princípio deverá ser considerado como uma matéria-prima a importar, poderá passar a ser uma matéria-prima nacional, desde que se efectue a montagem de uma instalação de coquefacção.

As possibilidades económicas de uma tal instalação são enormes, não só devido à produção do coque, mas também em face da importante indústria química de sub-produtos, todos eles de elevado valor.

Uma tonelada de carvão coqueficável pode produzir em média o seguinte:

600 a 700 kg de coque metalúrgico
50 a 100 kg de finos de coque
125 m^3 de gás com 4.600 k cal./m^3
22 litros de alcatrão
14 kg de sulfato de amónio
80 litros de licor amoniacal
13 litros de óleos leves

Para a produção de cerca de 120.000 t de coque por ano seriam portanto obtidas as seguintes quantidades anuais.

3.900 m^3 de alcatrão
2.400 toneladas de sulfato de amónio
14.000 m^3 de licor amoniacal
2.200 m^3 de óleos leves.

A partir destes produtos, nomeadamente do alcatrão e dos óleos leves, é possível obter ainda mais uma infinidade de derivados de elevado valor.

O carvão coqueficável deveria, numa primeira fase de funcionamento da indústria, ser, em grande parte pelo menos, importado.

Com efeito, o nosso conhecimento actual sobre as verdadeiras possibilidades dos combustíveis nacionais é ainda muito incompleto e, dada a urgência com que seria necessário montar uma instalação deste tipo, provàvelmente não haveria interesse em aguardar a conclusão dos ensaios que se nos afigura indispensável realizar ainda.

Sabemos no entanto que, a confirmarem-se notícias que nos foram dadas sobre a possibilidade de obter antracite do Pejão lavada, com menos de 12 % de cinzas, e dados os conhecimentos hoje em dia já obtidos sobre a lavabilidade dos carvões do Cabo Mondego, que nos prometem obter carvões com menos de 7 % de cinzas, podemos contar como certa a obtenção no nosso país de, pelo menos, uma parte dos combustíveis a coqueficar.

Garantias que nos foram dadas pelo grupo de produtores de cimento: Companhia Cimento Tejo, Empresa de Cimentos de Leiria e Companhia de Carvões e Cimentos do Cabo Mondego, que presentemente são os grandes consumidores dos carvões do Cabo Mondego, e que estarão prontos a ceder a totalidade dos carvões mais ricos daquela origem mediante determinadas condições, perfeitamente viáveis, permitem-nos con-

tar como certa a possibilidade de dispor dos carvões indicados.

No ultramar, nomeadamente em Moatize, encontraremos também uma parcela importante dos carvões a consumir, podendo a sua utilização na Metrópole criar as oportunidades necessárias ao desenvolvimento dos jazigos ultramarinos, e até resolver problemas de falta de fretes com que as empresas de transportes marítimos lutam durante parte do ano, entre a costa oriental e a Europa.

As lenhites de Rio Maior certamente também poderão vir a ocupar lugar de relevo entre os carvões a consumir, consoante os resultados dos ensaios gerais que se estão levando a efeito por entidades especializadas.

Portanto, a montagem de uma instalação de produção de coque, que numa primeira fase deveria ser prevista para trabalhar com carvões importados, pode-nos assegurar a utilização de carvões nacionais em quantidade e percentagem ainda a determinar. Atendendo a que os ensaios sobre carvões serão certamente demorados, e que pouco está feito até esta data, provàvelmente só mais tarde se conhecerá exactamente em que medida nos poderemos tornar independentes no campo do combustível.

Poderemos assim resolver a pouco e pouco e, pelo menos, parcialmente, o problema nacional quanto à deficiente qualidade dos nossos combustíveis.

Em caso de guerra ou outra emergência, a par dum stock de hulha ou de coque suficiente para um ano, pelo menos, a instalação de coquefacção poderá então ser utilizada, se necessário, em condições menos económicas mas que nos asseguram a continuidade de produção, mesmo empregando exclusivamente combustíveis nacionais, com o carvão de madeira a ajudar.

O custo de uma instalação de coquefacção é elevado, mas a sua rentabilidade estará por certo assegurada, como se tem verificado em numerosos países que empregam exclusivamente carvões importados.

O gás de coque produzido à razão de 190 m^3 por tonelada de coque, ou sejam 870.000 kcal./t de coque, poderá ser muito vantajosamente empregado constituindo mistura com o gás de alto forno, cujo baixo poder calorífico dificulta o seu emprego para determinados fins.

Em resumo: se for demonstrado que o alto forno a coque é o meio mais indicado para a redução dos nossos minérios, não parece lógico condená-lo como processo metalúrgico, pela existência de dificuldades no domínio exclusivo dos combustíveis: antes se afigura indicado que se procure resolver estas últimas dificuldades com os meios de que hoje se dispõe e que, entretanto, se adopte o alto forno, mesmo que seja de admitir a importação da hulha ou de coque nos primeiros tempos de laboração.

III — Castinas

Portugal possui castinas em quantidade e qualidade satisfatória para a siderurgia. O problema reside na escolha do jazigo a explorar e que, de certo modo, está principalmente dependente da localização da indústria.

Deixemos esta escolha para mais tarde, passando ao estudo final com a certeza de que existe a castina necessária.

O seu preço é difícil de determinar por enquanto; no entanto a influência no preço de custo da gusa não é muito sensível.

Uma variação de 50 % neste preço, representa uma variação correspondente de cerca de 2 % no preço da gusa.

IV — Energia eléctrica

Para o funcionamento da indústria siderúrgica, e desde que o processo de redução usado não seja a electrosiderurgia, não há qualquer problema quanto ao fornecimento de energia eléctrica, pois que toda a energia necessária (no máximo cerca de 25.000.000 kWh/ano) se pode considerar assegurada e a preços normais.

Quanto ao emprego de energia eléctrica em electrosiderurgia, já surge um problema que necessita ser atentamente examinado.

Embora, em nosso entender, só o Estado possa definir, em última instância, quais as disponibilidades de energia e qual o seu preço, julgamos interessante que desde já se pondere o seguinte:

Para a electrosiderurgia exclusiva das 150.000 t anuais de gusa que se pretende produzir, são necessários, dentro das qualidades de matérias-primas de que dispomos, cerca de 400.000.000 kWh/ano.

No caso de o processo de redução por electri-

cidade ser misto, isto é, em que a electricidade só seja chamada a fazer parte do trabalho de aquecimento ou de fusão, este consumo poderá ser reduzido a cerca de 100.000.000 kWh/ano, ou menos ainda.

Infelizmente, e conforme o demonstra o parecer sobre o Plano de Fomento, elaborado pela Secção de Electricidade da Câmara Corporativa, só em 1960 poderemos contar com aquela quantidade de energia eléctrica, e, mesmo assim, já em 1961 haverá certamente dificuldades em conseguir o seu fornecimento.

Dificilmente o crescimento das nossas centrais hidro-eléctricas poderá acompanhar o rápido aumento de consumo que se prevê para o País, e o saldo positivo no fornecimento de energia será ainda durante bastantes anos diminuto, e não poderá existir desde que haja anos de excepcional estiagem.

Deste modo, e a não ser que se venha a verificar a certeza de se poder abastecer com a energia necessária a indústria siderúrgica, será temeridade a montagem de fornos eléctricos, que depois serão forçados a estar parados por falta de energia.

O simples exame do quadro dos consumos de energia eléctrica por habitante, de diversos países europeus, revela que, mesmo em 1958 o nosso coeficiente será ainda cerca de 8 a 10 vezes inferior ao actual coeficiente dos países onde a electrosiderurgia tem um papel importante na redução de minérios.

Em outros países, só na fusão de sucatas e afinação de aço se encontram generalizadas as instalações deste tipo.

Portanto só uma mais rápida expansão dos programas de instalação de centrais hidro-eléctricas poderá garantir o fornecimento da electricidade necessária à electrosiderurgia.

Atendendo às enormes vantagens que a autarquia da nossa indústria siderúrgica traria, achamos ser este caminho digno de todos os esforços que se desenvolvam neste sentido.

V — Combustível líquido

A produção de fuel-oil é já importante no nosso País, e maior será com a entrada em funcionamento das novas instalações de refinação da Sacor.

As 15 ou 20.000 t que podem vir a ser necessárias para os diversos aquecimentos a instalar, devem ser obtidas com facilidade e regularidade.

VI — Combustível gasoso

Um sub-produto que será disponível das instalações novas da Sacor, será o gás não condensável, cujo consumo pela siderurgia poderia oferecer um certo interesse.

A sua utilização será no entanto difícil, desde que a localização da instalação siderúrgica não fique perto de Cabo Ruivo, o que nos parece pouco provável, *e em qualquer caso parece poderem encontrar-se utilizações mais nobres para um gás de tão alta qualidade.*

Teremos no entanto de examinar as possibilidades económicas que possa oferecer o transporte deste gás em contentores, sob pressão.

B) — Matérias primas a importar

Torna-se, presentemente, difícil fixar os preços da maior parte destas matérias-primas importadas, visto que não existe ainda entre nós um mercado para elas. Vamos, no entanto, utilizar os custos que nos foi possível obter para estes produtos no mercado estrangeiro, adicionados das despesas de transporte, alfândega, descarga, etc. É fácil pois que estes preços sejam susceptíveis de correcção, que, provàvelmente, será no sentido de os reduzir um pouco.

I — Coque metalúrgico

Segundo podemos verificar através do contacto estabelecido com vários fabricantes de coque da Alemanha e Inglaterra, não haverá qualquer dificuldade em se importar este tipo de carvão em quantidades de 100.000 — 200.000 t por ano, e mesmo mais, sendo possível obter-se preços favoráveis, e até segundo os mesmos fabricantes, quer de um país quer de outro, podem obter-se contratos de fornecimento a longo prazo.

II — Ferrosilício 80 %

III — Ferromanganês 80 %

IV — Spatofluor

V — Dolomites calcinadas

C) — Factores geográficos

A localização desta indústria deve obedecer a um mínimo de condições obrigatórias e que, a não serem satisfeitas, obrigará a despesas iniciais muito consideráveis, para se poder efectuar a sua instalação.

Essas condições são:

— Localização junto a um centro de comunicações de importância, onde existam instalações ferroviárias e estradas. A existência de um porto acessível a navios ou barcaças de dimensões razoáveis também apresenta decisiva importância económica.

— Localização junto a um centro populacional de relativa importância, onde seja fácil recrutar os 2.000 operários necessários para o funcionamento da instalação. A não ser cumprida esta condição põe-se um problema de habitação, cuja solução satisfatória custará uma centena de milhares de contos, só sendo esta despesa justificável desde que haja grandes vantagens económicas no que se refere a transportes ou abastecimento de energia em escolher uma tal localização.

— Localização perto de um importante manancial de água doce que possa fornecer pelo menos uns 5.000 m^3 de água por dia nas épocas mais secas e de preferência até 40.000 m^3.

— Localização perto de uma rede eléctrica capaz de satisfazer as necessidades de energia, ou seja:

25.000.000 kWh/ano

na hipótese de alto forno ou fornos rotativos, e

até 400.000.000 kWh/ano

para a electrosiderurgia.

Satisfeitas estas condições mínimas aqui anunciadas, haverá numerosos outros factores a ponderar e cuja influência se fará mais ou menos sentir, conforme o processo siderúrgico adoptado. Sem dúvida, de maior importância no campo económico estará a distância aos centros fornecedores de matérias-primas e aos consumidores dos produtos fabricados.

Em face do exposto, a escolha do local ficará limitada entre as vizinhanças de Lisboa ou Porto, em região de fácil acesso aos transportes marítimos.

A situação perto do Porto deve ser indiscutível, desde que se empreguem matérias-primas exclusivamente nacionais, visto estar mais próximo dos jazigos de carvão e dos principais jazigos de minério de ferro.

Para a electrosiderurgia também a região do Norte parece mais indicada, visto o preço do kWh ser aí mais favorável.

A localização perto dos jazigos de minério de ferro ou de Moncorvo ou de Vila Cova, poderá ser aceitável para uma solução parcial do problema (como por exemplo a redução do minério pelo processo Krupp-Renn ou eléctrico), sendo depois o ferro transportado para a instalação de acearia e laminagem.

Desde que se opte pelo alto forno a coque, será necessário discutir cuidadosamente o problema, pois que as maiores facilidades portuárias, a vizinhança das castinas de Pero Pinheiro, a proximidade das cinzas de pirites (que certamente constituirão parte importante do leito de fusão), darão à região de Lisboa certos aspectos de preferência em relação ao Porto.

Este aspecto só pode ser discutido mais tarde, depois de conhecidos todos os dados, e, até lá, tomaremos, para base do estudo a realizar, a localização perto do Porto.

A instalação junto aos terrenos onde se está montando a fábrica de folha de Flandres seria interessante sob o ponto de vista de concentração industrial e merece um estudo detalhado quando da escolha definitiva do local da implantação. Julgamos no entanto que a exiguidade de espaço plano disponível, a falta de água em quantidade suficiente e o afastamento de cerca de 8 kms do porto de Leixões, serão inconvenientes graves a considerar.

2 — PROGRAMA DE PRODUÇÃO

A — Consumo do País

Tomando como base a distribuição dos consumos de ferro e aço no nosso País nos últimos anos e comparando com a distribuição do consumo em outros países com condições industriais semelhantes às nossas (este estudo foi feito há já alguns anos pelo engenheiro Ettore

de Castro), é possível estabelecer uma previsão aproximada das nossas necessidades de ferro e aço.

Reportando-nos ao ano de 1957, pode considerar-se como muito provável que essa distribuição se apresente como no quadro junto.

Ferro e aço em bruto consumidos	em %	em toneladas (203.000 t)
Laminados de pequenas dimensões:		
Redondos e quadrados	15,0	30.000
Planos	5,5	11.000
Outros perfis	9,0	18.000
Laminados de médias dimensões:		
Rails e vigas	3,0	6.000
Outros perfis	9,0	18.000
Grandes dimensões:		
Perfis pesados diversos	5,0	10.000
Rails	2,0	4.000
Fil machine	8,0	16.500
Chapas grossas e finas	19,0	38.000
Folha de Flandres	8,0	16.500
Chapas muito finas	1,7	3.500
Tubos	4,5	9.000
Diversos	1,5	3.000
Gusa de fundição	10,0	20.000

B — Programa de laminagem

Não há quaisquer possibilidades económicas de considerar um programa de produção que abranja a totalidade do consumo, pois que as quantidades de laminados a fabricar são, em alguns tipos, excessivamente pequenas para poderem justificar a instalação do equipamento de laminagem respectivo.

Resta-nos pois procurar qual será a parte do programa de consumo que será viável fabricar no nosso País, e aguardar que o aumento do consumo justifique, a pouco e pouco, a instalação do equipamento necessário ao seu cumprimento integral.

Geralmente, um estudo deste tipo tem de ser feito muito detalhadamente, para que, em face do custo das máquinas, valor dos produtos e rendimento do trabalho, se determine exactamente até que ponto interessa ou não a instalação de determinado tipo de laminador. No nosso caso, este trabalho encontra-se consideràvelmente simplificado porque o consumo de alguns dos tipos de aços é de tal modo pequeno em relação à capacidade de produção normal dos laminadores respectivos, que a sua montagem fica imediatamente fora de toda a discussão.

Nada dizemos, por enquanto, àcerca dos tipos dos laminadores, sendo, para cada caso, possível considerar arranjos diferentes.

Observaremos no entanto o seguinte:

A técnica moderna de laminagem com grandes produções, tende para uma alta especialização.

Deste modo é corrente na instalação siderúrgica montar um único tipo de laminador especialmente adaptado à produção de um único produto: por exemplo chapas, ou ferros redondos e quadrados, etc.

No caso português tem de se prever uma instalação diferente, dum tipo que é corrente ainda hoje montar nos países menos industrializados e com unidades de produção pequenas, como a nossa.

Nestas instalações trabalham-se normalmente lingotes de reduzido peso, de modo a evitar as grandes unidades de redução.

Procura-se também acabar os produtos laminados num só calor, ou pelo menos reduzindo os reaquecimentos a um mínimo indispensável.

Também, devido à grande variedade de produtos, é necessário prever uma instalação em que as mudanças de cilindros sejam feitas com grande rapidez, e se possível arranjar duas linhas de acabamento, de modo que, enquanto se procede a reparações numa, a outra mantenha o débito regular da fabricação.

Para certos produtos, como por exemplo as chapas, as unidades de tipo moderno não são aplicáveis no nosso País, devido ao enorme débito que elas têm, e custo elevadíssimo de instalação. Teremos de recorrer a processos talvez antiquados, embora aperfeiçoados com toda a mecanização e simplicidade da técnica moderna, mas que permitem obter de máquinas não muito caras os débitos por nós pretendidos.

Quanto à folha de flandres, o problema reveste um aspecto completamente diferente. Com efeito, o facto de não ser possível fabricar, por enquanto, as «bandas» laminadas a quente necessárias ao fabrico da folha-de-flandres, pode ser fàcilmente resolvido fazendo-se a importação destas bobinas e efectuando a sua transformação por laminagem a frio no nosso País. Já foi demonstrado que esta operação é econòmicamente viável, e, como base neste processo, já a Companhia Portuguesa de Siderurgia tem em estudo um processo de laminagem a frio.

Julgamos no entanto interessante mencionar a possibilidade de fazer a laminagem a quente de folha-de-flandres, a partir de barras ou «platinas» que podem ser fàcilmente obtidas nos laminadores de 2.ª redução que venham a instalar-se.

Este sistema de laminagem a quente a partir de platinas foi já universalmente adoptado, tendo porém, durante os últimos anos, sido substituído quase totalmente pela laminagem contínua ou semi-contínua a frio. Na América, por exemplo, desde 1943 que não existe em funcionamento qualquer instalação de laminagem a quente de folha-de-flandres.

A principal razão que levou à adopção da laminagem a frio foi a maior economia do processo em mão-de-obra e a considerável redução nas perdas por desperdícios (de 25 % para menos de 20 %).

Parece de facto indiscutível que a laminagem a frio é mais económica, sobretudo quando se trata de grandes produções. No entanto, a sua adopção tem sido feita principalmente naqueles países onde existem instalações capazes de produzir as «bandas» laminadas a quente em grande quantidade e em condições de abastecimento garantidas e regulares.

Para a produção das 16.500 t de folha-de-flandres e 3.500 t de chapas finas, do nosso programa, será necessário importar anualmente cerca de 22.000 t de bandas.

Atendendo ao baixo preço por que nos será possível obter as «platinas» para a laminagem a quente de folha-de-flandres, e atendendo a que o consequente aumento do nosso programa deste primeiro escalão siderúrgico virá beneficiar os preços de venda a outros produtos fabricados, vamos considerar este sistema no nosso estudo, para se poder verificar qual o interesse económico da sua utilização.

Outra vantagem a considerar será a regularidade de produção que será possível obter, garantindo preços estáveis para a folha-de-flandres e não sujeitos às maiores ou menores dificuldades de importar as «bandas».

Além disso, o custo da instalação de uma laminagem a quente de folha-de-flandres é consideràvelmente inferior ao de uma laminagem a frio.

O fabrico do fil-machine pode ser fàcilmente realizado acrescentando mais alguns grupos laminadores e dispositivos enroladores ao laminador de pequenos perfis já previsto.

A produção de 16.500 t necessárias poderá ser convenientemente obtida numa instalação bastante simples, e mais tarde ampliada de acordo com o aumento de consumo que se verifique.

Não é económico, provàvelmente, prever a fabricação da totalidade dos perfilados consumidos no País, pois haverá sempre um certo número de tipos menos correntes (por exemplo ferro Z) e de dimensões de menor consumo que não justificarão, neste primeiro escalão, a existência dos jogos de cilindros respectivos.

Deste modo, no programa de fabrico que se vai considerar, foi julgado conveniente reduzir, em relação ao quadro de previsões de consumo já apresentado, as quantidades de produtos a fabricar :

Programa anual de fabrico para o 1.º escalão da Indústria Siderúrgica

Perfilados ligeiros	50.000 t
Perfilados médios	24.000 t
Chapas finas e médias	23.000 t
Fill-machine	16.500 t
Folha-de-flandres	16.500 t
	130.000 t
Gusa para fundição	20.000 t
	150.000 t

Apresentamos assim o programa-base do nosso 1.º escalão siderúrgico e que permitirá estabelecer os tipos e características do equipamento a instalar.

Dentro de certos limites, poderemos adaptar a nossa produção às necessidades do mercado, sendo possível mesmo, no que se refere às instalações de laminagem, conseguir aumentar a produção cerca de 10 - 15 % sem fazer novas adições de equipamento.

A extensão do programa de laminagem, correspondente a um aumento de consumo, mas continuando-se a produzir apenas os tipos de laminados até aqui considerados, deverá corresponder ao 2.º escalão da nossa indústria e a uma produção total de cerca de 300.000 t / ano de laminados.

C — Diagrama de conjunto do 1.º escalão

Dispomos no País, anualmente, de 30.000 t de sucatas.

O restante ferro necessário à fabricação do aço e da gusa de fundição deverá ser obtido a partir dos diversos minérios de ferro nacionais numa instalação de redução adequada.

Vejamos qual deverá ser a capacidade de produção dessa instalação:

Para a produção final de 130.000 t de laminados por ano, atendendo a que se dá através das instalações de laminagem uma perda de 23 % em sucatas, escamas, etc., é necessário partir de 170.000 t anuais de lingotes de aço.

Na acearia (fornos Siemens-Martin, convertidores, fornos de fusão eléctricos . . .) temos também uma perda de 11-12 %, sendo portanto necessário alimentar os fornos ou convertidores com uma carga metálica total de 189.000 t anuais, para se obterem as 170.000 t de lingotes.

Estas 189.000 t são compostas de:

30.000 t de sucatas compradas
35.000 t de sucatas de circulação e escamas de laminagem
124.000 t de gusa, ou carga metálica equivalente.

Como, além das 130.000 t de aço, temos necessidade de 20.000 t de gusa para fundição, a produção total de ferro bruto a obter por redução de minérios será portanto:

$$124.000 + 20.000 = 144.000 \text{ t/ano}$$

Os rendimentos de transformação das diversas fases variam consoante os processos siderúrgicos que vierem a ser adoptados, pelo que estes números são sujeitos a ligeiras alterações consoante a solução final adoptada.

Consideramos assim ter definido não só o programa de produção que tomaremos como base para o estudo do 1.º escalão siderúrgico, mas também as tonelagens correspondentes às 3 fases fundamentais da fabricação, ou sejam: a redução, a transformação em aço e a laminagem.

Interessa-nos agora investigar as possibilidades técnicas e económicas das várias hipóteses que se podem considerar, a fim de se poder estabelecer detalhamente o programa de produção da indústria.

3 – A FABRICAÇÃO DO FERRO E DO AÇO

Teremos, para discussão, os processos de

— alto forno a coque
— baixo forno eléctrico
— fornos rotativos: Krupp-Renn / Stürzelberg / Basset

Omitiremos neste relatório o estudo do processo Basset. Com efeito, a Companhia Cimento Tejo tem procedido a numerosos estudos deste problema e poderá, em qualquer altura, pôr em marcha a sua instalação de Alhandra, desde que verifique interesse económico nisso. A pequena produção viável com o equipamento existente (cerca de 30.000 t por ano) não deve alterar sensìvelmente o problema siderúrgico do conjunto, tal como o estamos a encarar e, desde que o preço seja aceitável, poderá fornecer gusa de alta qualidade para a instalação siderúrgica que se vier a montar.

Também não vamos considerar o baixo forno Humboldt, pois que a pouca experiência até hoje adquirida ainda com esse processo, que está numa fase de verdadeira evolução, não nos permite considerá-lo sèriamente como uma das soluções a adoptar. O baixo forno de Liège (processo diferente do de Humbolt) também terá certamente muitos anos de evolução primeiro que possa ser considerado como solução metalúrgica satisfatória.

Dos números conhecidos até à data, deduz-se que os consumos de combustível são estremamente elevados, embora seja de esperar que se venham a conseguir reduções apreciáveis.

Quanto aos processos eléctricos de redução, vamos considerar o clássico forno do tipo Tysland-Hole.

Outros processos eléctricos há, que são hoje utilizados para resolver diversos problemas. Assim, tanto o forno Lubatti, que permite empregar minérios de pequena granulometria, como o forno Wiberg, que consegue reduções no consumo de energia, estão já numa fase de franco desenvolvimento. No entanto, para o caso português, nenhum destes processos vem introduzir soluções novas que alterem o aspecto geral da electrosiderurgia, pelo que nos dispensamos de fazer a sua discussão, que seria bastante difícil, visto tratar-se de processos cuja aplicação não está ainda generalizada.

Quanto aos métodos de fabricação do aço, teremos a considerar:

Fornos de afinação, eléctricos
Forno Siemens-Martin
Convertidor a ar ou oxigénio

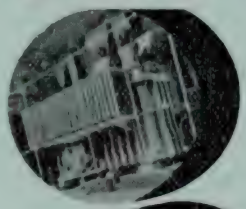
Os fornos eléctrico e Siemens-Martin, cujo principal interesse reside na alta qualidade do

SAVOISIENNE

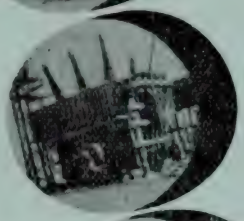
Ateliers de Constructions de Transformateurs de la Compagnie Générale d'Electricité

Especializada desde sua origem na construção do material electrico estatico, a actividade da Sociedade Savoisienne abrange igualmente as seguintes fabricações :

Transformadores de grande potencia e alta tensão para centrais e postos de interconexão.

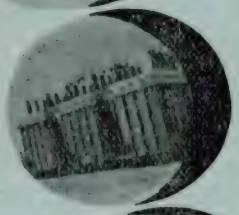


Transformadores com regulação em carga da tensão.



Transformadores com grande amperagem para alimentação de fornos e suas aplicações na Electrometalurgia e na Electroquimica.

Transformadores de ensaios, de medidas de tensão e bobinas de despejo.



Bobinas de reactancia no óleo, bobinas de equilibrio, bobinas de extinção de arcos a terra.

Transformadores de distribuição de todas potencias e tensões.

Postos de soldadura por arco.

DELEGADOS EM PORTUGAL

AGÊNCIA GERAL DE MATERIAL ELÉCTRICO, L.DA

Rua dos INDUSTRIAIS, 4, 1.º (às Cortes) ® LISBOA ® Telefs. 66 06 92 - 66 60 82

GOODYEAR

UMA QUALIDADE ESPECIAL PARA CADA SERVIÇO DISTINTO

MANGUEIRAS

para:

Acetilene
Ácidos e suas soluções
Água — Aquecimento
Ar — Aviação
Caminhos de ferro
Cerveja e vinhos
Dissolventes — Destilações
Fábricas de papel
Ferramentas pneumáticas
Gases — Gasolina
Lavagem de automóveis
Minas — Óleos — Oxigénio
Petróleo — Refrigeração
Produtos químicos
Serviços agrícolas
» de dragas
» de incêndios
» de jardins
» de regas
» sanitários
Soldagem — Vapor
Tintas — Lacas — Vernizes
etc., etc., etc.

Todos os líquidos
Todos os gases

CORREIAS

para:

Agricultura
Altas velocidades
Elevação de materiais
Grandes potências
Indústria em geral
Indústria téxtil
Serviços de minas
Transmissões difíceis
Transporte de materiais

CORREÕES SEM-FIM
THOR
para debulha e tractores

CORREIAS SEM-FIM
COMPASS
inextensíveis, para centrais
e pequenos tambores

CORREIAS MÚLTIPLAS
TRAPEZOIDAIS
etc., etc., etc.

Todas as velocidades
Todas as potências

PARA TODAS AS PRESSÕES E TODAS AS TEMPERATURAS

Distribuidores exclusivos: **CANELAS & FIGUEIREDO, L.DA**

Telef. 2 5058 / 2 4502 / 2 1729

R. dos Fanqueiros, 46 — LISBOA

Teleg. CANELASCO

aço fabricado e na possibilidade de tratar elevadas quantidades de sucata (100 % no forno eléctrico e 80 % no Siemens-Martin), equivalem-se, devendo a eventual escolha de um ou outro sistema depender das considerações económicas a realizar.

O convertidor para a afinação de gusa apresenta-se como o processo mais económico, estando o seu campo hoje em dia consideràvelmente alargado, quer no que se refere à qualidade do aço fabricado, quer no que se refere às possibilidades de emprego de sucata, pela aplicação do oxigénio.

A — Métodos de redução

I — O alto forno

Apresentamos a seguir resumidamente uma descrição do processo do alto forno, que nos permita calcular qual o provável preço de custo da gusa produzida.

Fundamentalmente, o processo do alto forno consiste em introduzir minério de ferro, combustível (coque ou carvão de madeira) e fundentes (calcáreo ou dolomite) na parte superior do forno, e insuflar ar aquecido na parte inferior. Em primeira aproximação, pode-se considerar que, por cada tonelada de gusa produzida, é necessário introduzir no forno 2 t de minério de ferro, 900 kg de coque, 500 kg de calcáreo ou dolomite e 3,5 t de ar. Correspondentemente, obtém-se uma tonelada de gusa em fusão, 600 kg de escória, 100 kg de poeiras extraídas dos gases e 5,1 t de gás do alto forno. Estes números indicados, se bem que possam ser considerados como normais, podem ser consideràvelmente alterados consoante a qualidade das matérias-primas empregadas.

A função do minério ou de outras matérias-primas contendo ferro, é fornecer o elemento ferro, que por sua vez constitui cerca de 93 $^1/_2$ % da gusa produzida. O rendimento, em ferro, do alto forno é cerca de 95 %.

O minério apresenta geralmente a forma de óxido, (ou hematite (Fe_2O_3), ou magnetite (Fe_3O_4), embora também possa ser limonite ($2\ Fe_2O_3 . 3\ OH_2$) ou siderite ($Fe\ CO_3$)). A hematite quìmicamente pura apresenta cerca de 70 % de ferro, mas o minério correntemente empregado apresenta cerca de 50 % de ferro.

Outras matérias-primas ferrosas são: escamas de laminagem, escórias Siemens-Martin, escórias do convertidor, sucatas, lupas «Renn» e cinzas de pirite.

Por meio de sinterização também se podem aglomerar as poeiras do gás do alto-forno, sendo então também possível empregá-las.

A escória do Siemens-Martin ácido contém cerca de 25 % de ferro e, em geral, apresenta um considerável excesso de bases sobre os ácidos, tornando-se pois, de certo modo, um substituto dos fundentes atrás indicados.

A função do coque (ou do carvão de madeira) é dupla: em primeiro lugar fornece temperatura suficiente para que se tornem possíveis as reacções metalúrgicas de redução; em segundo lugar fornece o agente de redução. As temperaturas elevadas são necessárias para reduzir e fundir todo o ferro, a maior parte do maganés e uma pequena parte do silício, e combinar e fundir a ganga do minério e a cinza do coque.

O carbono incandescente é por si próprio um enérgico agente redutor e é considerado responsável por cerca de 20 % da redução efectuada no alto forno.

O oxigénio do ar insuflado combina-se quase instantâneamente com o carbono, logo ao entrar no alto forno, para formar óxido de carbono, que é o agente responsável pela parte restante (80 %) da redução.

A função do calcáreo e dolomite é formar uma escória fluida com composição que impeça, convenientemente, os outros elementos (Si, P, S, etc.) de aparecerem na gusa. Estes elementos, por sua vez, consoante a sua presença na gusa, regulam as propriedades mecânicas e químicas do produto obtido.

O combustível empregado deve ser isento de enxofre, e deve apresentar uma resistência mecânica suficiente para resistir ao peso da carga do forno, sendo também suficientemente poroso para que a sua combinação com o oxigénio do ar de insuflação se faça com facilidade. Nestas condições encontram-se o carvão de coque e o carvão de madeira, sendo no entanto a resistência mecânica deste último consideràvelmente inferior à daquele.

Atendendo ao preço elevado do coque, e á percentagem elevada de elementos ácidos nos minérios principais, no caso português é aconselhável trabalhar com o forno em regime de escória ácida.

A dessulfuração da gusa deverá pois ser feita no forno misturador.

Em consequência disto a escória do alto forno tem reduzido valor e, nos cálculos que faremos, não lhe atribuiremos qualquer valorização.

O aproveitamento do gás do alto forno é hoje em dia indispensável para a boa economia do processo.

Sendo o seu poder calorífico de cerca de 900 cal./m^3, e sendo a produção de gás de, aproximadamente, 4.000 m^3/t de gusa, temos uma produção de $3{,}6 \times 10^6$ kcal./t de gusa, cujo valor, utilizando este gás como combustível de aquecimento, em substituição de fuel-oil, se pode calcular do seguinte modo:

— Custo de 1.000.000 kcal. de fuel-oil: 85$00.
— Valor de 1.000.000 kcal. de gás de alto forno: 85$00.
— Valor de 1 m^3 de gás de alto forno: 0,08 esc.
— Valor do gás de alto forno produzido por tonelada de gusa: $4.000 \times 0{,}08 = 320\$00$.

Este gás é *de aplicação limitada devido ao seu baixo poder calorífico*, e o valor aqui indicado só é verdadeiro desde que seja possível empregá-lo em forma de aquecimento ou noutros fins, em que ele possa substituir o fuel-oil.

As aplicações mais corrente são:

— aquecimento do ar de insuflação;
— reaquecimento de lingotes e «billets»;
— produção de vapor para accionamento dos insufladores de ar;
— produção de vapor para accionamento dos grupos turbo-geradores.

A aplicação do gás de alto forno como combustível de reaquecimento na laminagem é sujeita a determinadas dificuldades, sendo necessário aquecer prèviamente o gás e o ar de combustão para se obterem temperaturas suficientemente elevadas.

Existindo uma coquefacção, será preferível misturar o gás de alto forno com o gás de coque, evitando-se assim os preaquecimentos.

A produção de energia eléctrica é geralmente menos rentável que a utilização do gás como combustível de aquecimento.

Com efeito, tomando o valor do kWh. de $32 e considerando que são necessárias 3.800 kcal. para, numa instalação geradora muito moderna, se produzir 1 kWh., teremos uma equivalência de:

$$262 \text{ kWh.} \diamond 1.000.000 \text{ kcal.}$$

A amortização, mão-de-obra, materiais, etc. . . ., numa instalação turbo-geradora, representam um custo de $12/kWh. Numa estação transformadora de alta em baixa tensão, as mesmas despesas representam $05.

Deste modo, em cada kWh. teremos uma diferença de:

$$(\$32 + \$05) - \$12 = \$25$$

para valorização da energia produzida numa central Turbo, relativamente ao custo da energia comprada.

Sendo assim, a valorização de 10^6 kcal. de gás do alto forno será:

$$10^6 \text{ kcal.} \diamond 262 \text{ kWh} \diamond 262 \times \$25 = 66\$00$$

Por tonelada de gusa produzida:

$$3{,}6 \times 10^6 \text{ kcal.} \diamond 3{,}6 \times 66\$00 = 240\$00$$

ou seja sensìvelmente inferior ao valor encontrado empregando-se o gás como combustível.

Os insufladores de ar para o alto forno, que são, modernamente, rotativos, devem ser accionados por motores de velocidade variável, de modo a ser sempre possível obter uma boa regulação da pressão e do débito de ar.

Atendendo à elevada potência destes aparelhos, sendo o seu accionamento feito por motores eléctricos é necessário recorrer à instalação de grupos Ward-Leonard, cujo custo e exploração resultam geralmente anti-económicos.

Recorre-se por isso frequentemente ao accionamento destes insufladores por turbinas de vapor, empregando o vapor produzido em caldeiras apropriadas, que utilizam como combustível o gás do alto forno. Estas instalações têm uma enorme elasticidade de funcionamento, e julgamos aconselhável a sua utilização no nosso caso.

Modernamente também se começa a empregar a turbina de gás, aproveitando-se os gases de escape para fazer o aquecimento do ar de insuflação do alto forno. Estas instalações, que por enquanto, estão ainda num período experimental, apresentam-se muito prometedoras para o futuro

Quanto ao leito de fusão a adoptar, temos a considerar o seguinte:

Os minérios de Moncorvo e Vila Cova contêm cerca de 0.4 % de fósforo e 50 % de ferro. Especialmente o primeiro, que, por ser o mais abundante dos minérios de ferro portugueses, deverá sempre constituir parcela importante do nosso leito de fusão, irá causar-nos algumas dificuldades e limitações devido ao seu elevado teor em fósforo. Com efeito, uma gusa obtida a partir exclusivamente de minério de Moncorvo, ou de minério de Vila Cova não concentrado (visto que o concentrado de Vila Cova apresenta um baixo teor em fósforo), conterá cerca de 0.8 % de P.

Uma gusa nestas condições é pouco própria para ser tratada nos fornos Siemens-Martin ou eléctrico, onde o seu tratamento resulta muito caro, pois que, para eliminar o fósforo, será necessário fazer várias renovações da escória, prolongando-se assim muito a duração da operação e aumentando consideràvelmente o consumo de combustível ou energia.

Por outro lado, este teor em fósforo é excessivamente baixo para se poder empregar o processo do convertidor Thomas. Para isso seria necessário 1.7 a 2.0 por cento de P na gusa.

Quanto ao processo do convertidor a oxigénio, desenvolvido em Linz, na Áustria, durante os últimos anos, necessita de uma gusa contendo menos de 0.5 % de fósforo, e portanto o valor indicado é excessivamente alto para se poder empregar esta solução.

A mistura de diversos minérios com cinzas de pirite pode resultar numa qualidade conveniente de gusa, desde que se tenha o cuidado de limitar as cinzas de pirite de modo a que o teor em cobre no aço não exceda 0.2 a 0.3 %.

Alternativamente pode-se juntar um minério fosforoso ao leito de fusão, de modo a obter-se uma gusa com 1.7 % de fósforo, apta a ser tratada no convertidor Thomas.

Para a produção de gusa de fundição — baixa em fósforo e com cerca de 3 % de silício — será necessário um leito de fusão diferente, em que se introduza uma percentagem elevada de sucatas, ou então magnetite de Vila Cova, concentrada, ou ainda minério de Orada.

Para tornar possível o emprego dos diversos tipos de minérios de que dispomos no País, bem como das cinzas de pirites, é conveniente montar uma instalação de sinterização.

Deste modo também será possível empregar os finos dos minérios e as escamas de laminagem.

Se for imprescindível diminuir o custo inicial duma instalação de alto forno, poder-se-á passar alguns anos (2 ou 3) sem a instalação de sinterização, indo-se, durante esse período de tempo, fazendo stock dos finos e escamas de laminagem.

No nosso caso, dada a conveniência de empregar finos e cinzas de pirites, julgamos indispensável dispor, desde o início, da sinterização, com uma capacidade anual para cerca de 120.000 t.

Para cumprimento do programa de produção pretendido, seria necessário montar um alto forno de 500 t por dia.

II — O baixo forno eléctrico

A seguir ao alto forno a carvão, o baixo forno eléctrico é, sem dúvida, o mais empregado processo de redução.

Para o caso português, apresenta este processo a vantagem de se poderem utilizar as antracites nacionais como carvão de redução, embora, devido ao seu elevado teor em cinzas, daí resulte um elevado aumento de escória produzida e portanto de energia eléctrica consumida.

A fim de se conseguir reduzir a um mínimo o consumo de energia, é conveniente montar uma instalação de sinterização para aglomerar os concentrados de magnetite e os finos e cinzas de pirite, e, se possível, empregar carvões lavados.

Tal como com o alto forno, o custo de uma instalação de um forno eléctrico de redução já compreende a respectiva instalação de sinterização.

Esta operação de sinterização que, no caso do forno de redução eléctrico, deve ainda ser precedida de uma mistura cuidadosa e britagem de todos os elementos constituintes do leito de fusão, pode conseguir uma redução no consumo de energia, de 250 a 350 kWh/t.

Para a produção que se pretende — 144.000 t por ano —, ou sejam cerca de 500 t/dia — será necessário instalar 5 fornos de 13.500 KVA.

O leito de fusão e a qualidade da gusa obtida será muito semelhante à do alto forno, havendo que contar com um consumo de energia eléctrica de 2.750 kWh/t de gusa produzida e 520 kg de antracite, ou 2.500 kWh/t se se empregar sinterização.

O gás do forno tem um poder calorífico de cerca de 2.500 kcal/m³, sendo a produção de 500 m³ por tonelada de gusa.

Devido ao seu elevado poder calorífico, este gás pode ser empregado no aquecimento dos fornos Siemens-Martin ou, tal como o gás do alto forno, também nos aquecimentos da laminagem.

Geralmente não se emprega este gás na produção de vapor, pois que ele aqui não é necessário, como no caso do alto forno, para o accionamento dos grupos turbo-compressores, e não haver interesse em produzir energia eléctrica numa instalação de electrosiderurgia.

Embora seja de considerar a hipótese de que os fornos de redução deverão parar durante a época de estiagem, não é económico encarar uma instalação funcionando nestas condições, visto que, além de ser necessário, para atingir a mesma produção anual, prever a montagem de mais um forno, pelo menos, teremos ainda, durante um período de tempo considerável, que empregar na acearia a gusa fabricada durante os meses de energia barata, que já se encontra fria e que, portanto, vai impedir o emprego dos convertidores.

Se o carvão de redução que se vier a empregar for de boa qualidade (finos de coque importados), será possível reduzir o consumo de energia eléctrica para cerca de 2.500 kWh/t, ou 2.300 kWh/t se se empregar a sinterização.

III — Processo de Krupp-Renn

O processo Krupp-Renn, como aliás todos os outros processos siderúrgicos em forno rotativo, procura resolver as rigorosas sujeições quanto a matérias-primas, impostas pelo alto forno, tornando possível a produção do ferro utilizando matérias-primas pobres, cujo preço vantajoso pode compensar os inconvenientes de menor rendimento térmico de tais processos.

Fundamentalmente, o processo baseia-se na introdução, dentro de um forno rotativo muito semelhante ao tipo de forno vulgarmente usado no fabrico de cimento, de uma mistura de minério de ferro silicioso e de carvão de redução. Tanto o minério como o carvão, deverão ter uma granulometria pequena, podendo ser friáveis e poeirentos, ou seja ter aquelas características que justamente tornam difícil o seu emprego num alto forno.

O movimento rotativo do forno, que é ligeiramente inclinado no sentido do seu eixo, obriga a mistura de minério e carvão a descer pelo forno, aproximando-se da extremidade inferior, onde se encontra montado um queimador de aquecimento. Este queimador pode utilizar como combustível, ou carvão pulverizado, ou óleos pesados ou gás, sendo os gases de combustão aspirados da extremidade mais elevada do forno, por onde é introduzida a matéria-prima (minério e carvão de redução).

Deste modo, o minério e o carvão vão atravessando zonas cada vez mais quentes do forno, indo os gases de combustão, ao longo do seu trajecto, encontrando misturas de minério e carvão cada vez mais frias.

Assim, consegue-se — dando um comprimento elevado ao forno — baixar a temperatura dos gases consideràvelmente, obtendo-se pois a recuperação de parte do calor.

Juntamente com o ar necessário à queima do combustível de aquecimento, introduz-se no forno o ar suficiente para, em contacto com o carvão de redução, formar óxido de carbono que, sob a acção das temperaturas existentes dentro do forno, vai reduzir o minério.

Aquele óxido de carbono que consegue escapar da camada de minério em movimento para entrar na zona dos gases que atravessam o forno, será queimado em anidrido carbónico pelo excesso de ar presente nesses gases, indo o respectivo calor de combustão ajudar o combustível de aquecimento a manter uma temperatura adequada dentro do forno.

Quer dizer: embora no interior da camada de minério em movimento a atmosfera seja essencialmente redutora, devido ao excesso de carvão presente, na maior parte do volume do forno a atmosfera é oxidante. Assim, resulta que as partículas da carga, no seu movimento através do forno, estão ora em contacto com a atmosfera de gases oxidantes, ora em contacto com o meio redutor. A fim de se garantir que o fenómeno de redução predomine, existe uma barragem na saída do forno que obriga a acumular-se uma quantidade importante de carga dentro do forno, no interior da qual, como dissemos, a atmosfera é redutora.

A temperatura necessária à redução nestas condições é de cerca de 1000°, ou seja muito inferior à temperatura de fusão do ferro.

Em geral atingem-se temperaturas de cerca

de 1200° no interior da carga do forno, o que é suficiente para tornar pastosa a escória.

A fim de evitar a fusão excessiva da escória, que acarreta, como inconveniente, grande dificuldade em a separar depois das lupas de ferro, convém que a escória tenha uma temperatura de fusão elevada, para o que se procura manter um índice de basicidade $\left(\frac{CaO}{SiO_2}\right)$ de cerca de 0.2 a 0.15.

A mistura de escória e lupas é depois separada por via magnética, para o que é necessário fazer uma moagem grosseira num moinho de bolas.

A fim de se conseguir um arrastamento regular das partículas metálicas para fora do forno e, ainda, que as condições de transmissão de calor, no leito de redução, sejam satisfatórias, é necessário que a quantidade de escória seja bastante superior à produção de lupas.

O processo Krupp-Renn consegue, pois, tratar, sem dificuldade de maior, minérios com teores muito elevados em SiO_2 e baixos em ferro, e cuja utilização no alto forno era pràticamente impossível.

A escória produzida não tem qualquer valor comercial e, embora o carvão seja barato, não há qualquer produção de gases recuperável, como no alto forno.

Finalmente: as lupas, embora ricas em ferro, são de difícil utilização. Até hoje, nas diversas instalações que existiram — e que, diga-se de passagem, se encontram quase todas paradas ou desmontadas — as lupas foram sempre utilizadas como matéria-prima de alto forno, para enriquecer a carga e aumentar a produção destes, ou então empregadas em fornos Siemens-Martin juntamente com a gusa de alto forno e sucatas, e em percentagens de cerca de 10 % apenas.

Efectivamente as lupas são pequenas bolas de aço, muito compactas e cuja fusão é extremamente difícil, não só devido à elevada temperatura que é necessário atingir, mas também em consequência das péssimas condições de transmissão de calor que existem quando a percentagem de lupas é elevada, pois que, devido a serem muito pequenas e de dimensões variadas, o seu conjunto forma uma massa homogénea dificilmente permeável aos gases e ao calor.

Propõem-se, hoje em dia, vários processos para conseguir a sua fusão mas, além de nenhum deles ter sido ainda completamente comprovado, sabe-se que os consumos de combustível ou energia são consideràvelmente mais elevados do que na afinação de gusa ou de sucatas.

Esses processos são:

— Fusão das lupas num forno de fusão eléctrico, juntamente com sucatas;
— Fusão em forno Siemens-Martin, também misturadas com sucatas;
— Fusão em forno de cúpula a coque;
— Fusão em forno rotativo.

Presentemente não existe ainda suficiente experiência da aplicação destes processos para se poder garantir o bom êxito técnico do tratamento das lupas em percentagem muito elevada (no nosso caso cerca de 65 % de lupas e 35 % de sucatas).

Fazendo a sua fusão em forno eléctrico ou Siemens-Martin, será conveniente empregar um forno só para a fusão, passando depois as lupas para um segundo forno onde se faz a sua afinação juntamente com sucatas. O consumo de combustível será consideràvelmente mais elevado do que no tratamento de sucatas e gusa em fusão, como é natural, e o custo da instalação também será elevado devido à grande capacidade de fornos a montar.

Mais modernamente pensa-se em fazer a fusão das lupas em fornos de cúpula ou mesmo em fornos rotativos. No primeiro caso, o combustível para a fusão terá de ser o coque metalúrgico, sendo o seu consumo provável cerca de 130 a 150 kgs/t; no segundo caso poder-se-á empregar carvão pulverizado de má qualidade, residindo neste ponto o interesse do processo, mas a quantidade de combustível necessário será elevada devido ao pior rendimento térmico do processo de forno rotativo.

As lupas obtidas em fusão pelo forno de cúpula terão um teor em carbono de cerca de 1,5 % e cerca de 0,6 % de enxofre. No forno rotativo, e desde que se junte às lupas uma escória fortemente básica e carvão, será possível obter gusa em fusão e com reduzido teor de enxofre, sendo então o processo verdadeiramente uma aplicação do processo Basset-Smidth.

Como nenhum destes últimos processos foi até esta data aplicado em escala industrial ou com continuidade ao tratamento de lupas Renn, teremos que tomar com a maior reserva os con-

sumos e rendimentos que nos forem indicados, e que se vão adoptar como base para os cálculos.

As adições de ferrosilício e ferromanganés a fazer durante o tratamento das lupas, terão de ser consideráveis, especialmente no que se refere ao ferromanganés.

Outro inconveniente, para o caso português, reside no facto de que a utilização das cinzas de pirite no processo Krupp-Renn não é aconselhável, pois que, além de aumentarem consideràvelmente o teor em *S* do leito de fusão, cuja difícil eliminação, dado o baixo teor em cal da escória, irá dar lupas altas em enxofre, ainda há que considerar que o baixo teor em sílica das nossas pirites iria obrigar a empregar areia ou escória no leito de fusão, a fim de este não resultar excessivamente pobre em elementos ácidos.

Quer dizer: no processo Krupp-Renn não é aconselhável empregar as cinzas de pirite, que constituem justamente um dos minérios mais ricos que nós possuímos.

Por outro lado, devido à dureza e resistência do minério de Moncorvo, seríamos levados a empregar apenas os finos e a exportar os pedaços de maiores dimensões, cujo emprego num forno Krupp-Renn obrigaria a uma moagem, necessàriamente encarecedora do minério.

Finalmente, a acrescer a estas dificuldades, temos o problema da eliminação do fósforo, cuja presença nas lupas obtidas a partir do minério de Moncorvo será de cerca de 0.8 %; e a eliminação do enxofre que, como já dissemos, também está presente em quantidades consideráveis.

Devido às baixas temperaturas de funcionamento, sòmente os óxidos contendo fósforo são parcialmente reduzidos, não sendo já possível reduzir os óxidos contendo silício e manganés, pelo que as lupas são isentas destes elementos. Deste modo será necessário adicionar ferrosilício e ferromanganés a fim de se obter uma composição adequada para o aço.

Julgamos que o campo de aplicação económica do processo Krupp-Renn é, na verdade, num país onde exista uma indústria siderúrgica relativamente desenvolvida e onde a falta de minérios de boa qualidade obrigue a empregar os minérios mais siliciosos e baixos em ferro. É afinal o caso alemão, país de origem deste processo, em que foi montada em Watendsted uma instalação de 3 fornos rotativos Krupp-Renn que tratavam, convertendo em lupas metálicas, os minérios siliciosos da região. Estas lupas eram depois fornecidas a diversas instalações siderúrgicas com altos fornos, e aí eram empregadas em percentagens de, aproximadamente, 10 %.

No fim da guerra, esta instalação foi desmontada pelos Aliados, sendo dois fornos levados para França, onde foram instalados formando um grande forno para fabrico de cimento. O terceiro forno foi para a Grécia, onde está em vias de ser colocado na sua forma primitiva, para tratar minérios ricos em níquel.

É interessante notar que, estando hoje em dia a indústria alemã em vias de reconstrução em larga escala, nenhuma tentativa foi ainda feita para repor em marcha a instalação de Watendsted, pois que o seu interesse económico se encontra grandemente diminuído devido a ter desaparecido a necessidade de produzir a todo o custo, que existia durante a guerra.

Os mesmos minérios que eram usados na instalação Krupp-Renn, estão hoje, depois de devidamente concentrados e sinterizados, a ser usados em 4 altos fornos de marcha ácida.

Hoje em dia estão em montagem algumas instalações destas, uma das quais na vizinha Espanha, *mas em todos os casos trata-se de resolver problemas especiais e não de servir de base a uma indústria siderúrgica,* que é o fim que temos em vista.

Em resumo: o processo Krupp-Renn tem sido empregado com êxito na beneficiação de minérios muito pobres. As lupas têm sido empregadas ou como matéria-prima de altos fornos, ou em fornos Siemens-Martin, misturadas em pequena percentagem (10 %) com sucatas.

No caso português, as lupas serão em maior quantidade do que as sucatas, e este facto vai trazer à sua fusão e beneficiação dificuldades de ordem técnica e económica consideráveis.

A utilização de um leito de fusão misto, contendo pirites, concentrados de magnetite, etc., não é aconselhável, devido a que as condições de aplicação do processo exigem uma matéria-prima pobre em ferro e rica em SiO_2.

Devido à longa duração do tratamento das lupas, tanto no forno eléctrico como no forno Siemens-Martin, dá-se uma perda de ferro considerável nesta operação, pelo que a produção anual de lupas deve ser de cerca de 150.000 t.

Empregando fornos com as dimensões dos fornos de Watendsted, seriam necessárias 3 unidades, sendo o custo da instalação muito elevado.

IV — Processo de Stürzelberg

O processo de Stürzelberg, que mecânicamente é bastante complicado, baseia-se em um forno rotativo com cerca de 11 m de comprimento e de eixo horizontal. As duas extremidades são tronco-cónicas, sendo o diâmetro do forno cerca de 4 m e o diâmetro nas extremidades apenas de 1,5 m.

Com uma colher colocam-se os produtos que constituem o leito de fusão dentro do forno (minério baixo em silício, calcáreo, carvão de redução, etc.) e este é então aquecido por meio de um queimador de carvão pulverizado ou fuel-oil introduzido numa das extremidades. O forno, durante esta operação de aquecimento e fusão da carga, tem um movimento de rotação que facilita a transmissão de calor e as reacções entre a carga, ao mesmo tempo que evita o excessivo aquecimento do revestimento.

As reacções de redução dão-se assim dentro do forno, em óptimas condições de serem controladas e, quando estão terminadas, o forno é despejado por um complicado movimento basculante que, levantando uma das extremidades do forno, faz sair pela outra, primeiro, o ferro em fusão, e depois a escória.

Devido ao pequeno comprimento do forno, a temperatura dos gases na extremidade de saída do forno é muito elevada (cerca de 1100°) e, a fim de se recuperar o calor que, de outro modo, seria perdido, faz-se este gás atravessar, primeiro, um tambor-secador onde se dá uma prévia descarbonatação e secagem do calcáreo e, depois, outro recuperador onde se faz um pré-aquecimento do minério de ferro.

Os gases são ainda obrigados a passar num pré-aquecedor do ar primário de combustão e secador do carvão de redução.

Com todas estas operações é possível baixar a temperatura dos gases para cerca de 400°.

A gusa produzida é extremamente pura, sendo pràticamente isenta de S e muito baixa em silício e manganês.

Este facto, que é interessante quando se pretende fabricar uma gusa especial, é pouco de apreciar quando se deseja obter uma gusa para utilizar no fabrico de aço.

O consumo de combustível é muito elevado, aumentando muito ràpidamente quando a percentagem de silício no leito de fusão aumenta, devido à maior quantidade de calcáreo que é necessário adicionar e consequente aumento de escória produzida. Normalmente é conveniente trabalhar com uma relação $\frac{CaO}{SiO_2}$ muito elevada (cerca de 2,0 a 2,1), o que, sob este ponto de vista, torna este processo contrário do processo Krupp-Renn.

Deste modo é muito pouco económico utilizar uma matéria-prima alta em sílica, como são quase todos os nossos minérios de ferro, nomeadamente os de Moncorvo, sendo as cinzas de pirite mais indicadas sob esse ponto de vista.

Infelizmente o elevado teor em cobre das nossas cinzas de pirite não permite empregá-las sem serem misturadas com elevadas percentagens de outros minérios, pelo que se torna muito difícil arranjar um leito de fusão que seja económico e que, ao mesmo tempo, assegure uma qualidade de gusa satisfatória.

A escória, dado o seu elevado teor em cal, é um adubo de valor apreciável o que representa um benefício importante para o processo.

A única instalação existente possui 2 fornos e tem uma capacidade de produção anual de cerca de 10.000 t, sendo cerca de 4.000 t produzidas no forno mais pequeno e 6.000 t no forno maior.

Para as necessidades de gusa do nosso programa, seriam pois necessários cerca de 24 fornos iguais ao maior forno existente, embora hoje em dia se projecte já a construção de fornos de maiores dimensões, capazes de produzir talvez umas 15.000 t anuais cada um. Em qualquer caso, para a produção de cerca de 144.000 t de gusa por ano, serão necessários pelo menos uns 10 fornos.

Na instalação que está actualmente em marcha, emprega-se a pirite com cerca de 10 % de zinco.

Este é arrastado pelos gases que saiem do forno, e, depois de estes esfriados, procede-se à sua recuperação por meio de um filtro electro-estático tipo Cottrell.

Consegue-se deste modo recuperar cerca de 50 % do zinco contido nas pirites, ou sejam portanto cerca de 40 kg por tonelada de gusa produzida.

Este zinco constitui um valor importante e é ele, na realidade, a principal razão de ser da fábrica de Stürzelberg.

Em Portugal, este processo poderá ter interesse

por empregar carvão de redução de baixa qualidade — como por exemplo as nossas antracites —, sendo o aquecimento também feito com carvões nacionais pulverizados ou então fuel-oil ou gás.

As dimensões do minério devem ser pequenas, sendo possível empregar os concentrados de magnetite, sem qualquer operação de sinterização.

O rendimento, em ferro, deste processo é muito baixo (cerca de 75 %), baixando consideràvelmente quando aumenta a quantidade de escória.

A instalação Stürzelberg, que vamos considerar, seria composta por 10 fornos com a capacidade de 50 t por dia, e capazes de produzir 144.000 t de gusa por ano.

Visto que o teor em fósforo da gusa a ser afinada em convertidores a oxigénio não deve exceder 0.5 % e como, por outro lado, o teor em cobre deve ser limitado a 0.2 %, deve haver especial cuidado na escolha do leito de fusão.

Pode-se adoptar o seguinte:

88.500 t	de concentrado de magnetite com 0.1 % de fósforo;
102.500 t	de minério de Moncorvo com 0.4 % de fósforo;
35.000 t	de minério de manganés com 0.4 % de fósforo;
73.000 t	de cinzas de pirite com 0.4 % de cobre;
6.800 t	de cascas de laminagem.
305.800 t	de minério por ano.

A quantidade de carvão de redução correspondente é de cerca de 194.000 t de antracite, das quais será conveniente substituir cerca de 10.000 t por finos de coque, que deverão, de preferência, ser usados durante o período de carburação da gusa.

A produção de escória será de 110.000 t.

A gusa obtida terá, provàvelmente, a seguinte composição:

C	4 %
Si	0.1 %
Mn	2 %
Cu	0.2 %
P	0.55 %

Devido às temperaturas atingidas não serem suficientemente elevadas, não se chega a conseguir redução apreciável dos óxidos contendo silício, pelo que a gusa obtida é pràticamente isenta deste elemento.

Esta gusa — com execpção daquela que é empregada nos fornos siemens-Martin e a que se destina à produção de gusa de fundição — é recolhida num forno de mistura com capacidade para 800 t, de onde é entregue às instalações de convertidores a oxigénio, compostas por 2 convertidores de 10 t cada um, e que consomem, além da gusa, alguma sucata para arrefecimento, calcáreo e oxigénio puro.

O oxigénio será produzido numa instalação que faz parte do conjunto.

O misturador poderá servir como forno de adição quando se pretenda preparar gusa para fundição, podendo-se fazer nele as adições de ferrosilício ou ferromanganés. A composição da gusa para este efeito terá de ser diferente daquela considerada atrás, nomeadamente no que se refere ao teor em fósforo, que deverá ser mais baixo. Isto pode conseguir-se empregando sucatas no leito de fusão do forno, quando se pretenda gusa desta qualidade.

A gusa normal para fundição será relativamente dispendiosa devido ao elevado preço do do ferrosilício, que será preciso adicionar (cerca de 30 a 40 kg por tonelada).

B — Métodos de produção de aço

Forno Siemens-Martin:

O forno Siemens-Martin, apesar do seu elevado custo, considerável consumo de combustível e grandes dimensões, continua a desempenhar um papel importante nas acearias modernas, devido às possibilidades que oferece no tratamento de sucatas que, como se sabe, constituem uma das mais importantes matérias-primas empregadas na indústria siderúrgica.

Para tratamento das 45.000 t anuais de sucatas disponíveis (visto cerca de 20.000 serem empregadas nos convertidores a oxigénio), às quais se devem adicionar cerca de 13.000 t de gusa em fusão, é conveniente prever a montagem de 2 fornos Siemens-Martin de 30 t cada um.

O aquecimento será feito com fuel-oil ou gás do forno eléctrico, conforme o processo de redução que for adoptado.

O consumo de combustível (fuel-oil ou gás) na fusão de sucatas misturadas com cerca de

25 % de gusa líquida, é de 13.000.000 kcal./tonelada de aço. Isto equivale a um consumo de fuel-oil de 130 kg/toneladas de aço.

Para a fusão e tratamento das lupas Renn em que, como dissemos, surgem dificuldades quanto às elevadas temperaturas necessárias e má transmissão de calor, teremos um consumo de 15 500.000 kcal./tonelada de aço, ou seja um consumo de fuel-oil de 155 kg/tonelada e, como vimos, será conveniente fazer a operação em duas fases.

Forno eléctrico de fusão :

Tal como o forno Siemens-Martin, este sistema é muito adequado para o tratamento de sucatas, oferecendo, relativamente àquele, a vantagem de não ser necessário adicionar gusa à sucata a fundir, visto poder-se trabalhar em meio redutor, o que não se verifica no forno Siemens--Martin.

Além disso, o tempo necessário a cada fusão é muito menor do que no forno Siemens-Martin, o que, adicionado ao facto das paragens anuais serem também menores, permite, com um único forno de 30 t, fazer o mesmo trabalho para o qual verificamos serem necessários 2 fornos Siemens-Martin.

O consumo de energia eléctrica na fusão de sucatas é de 800 kWh / toneladas, sendo portanto necessários, anualmente, 36×10^6 kWh, para a fusão de 45.000 t de sucatas.

Para a fusão e tratamento das lupas Renn, a quantidade de energia necessária por tonelada será consideràvelmente maior, aproximando-se dos 1.200 kWh. Assim, para a fusão de 35 % de sucatas e 65 % de lupas, teremos um consumo médio de 1.050 kWh toneladas.

O consumo anual de energia será, portanto:

$$170.000 \times 1.050 = 180 \times 10^6 \text{ kWh}$$

É conveniente empregar 2 fornos eléctricos neste processo; o primeiro para a fusão das lupas, dessulfuração e desfosforação, e o segundo para a fusão das sucatas e afinação das lupas já fundidas no primeiro forno. Por este facto o custo de uma tal instalação é bastante elevado relativamente à capacidade de produção.

É interessante fazer notar aqui que, no caso de se empregar um forno eléctrico de fusão para as sucatas, deve ser possível, sem transtorno de maior para a siderurgia, utilizá-lo sòmente durante 9 meses do ano, correspondentes ao período em que há energia hidroeléctrica mais abundante.

Convertidores :

É este o processo mais económico para transformar a gusa em aço. Até há pouco tempo, eram impostas estreitas limitações à composição química da gusa para ser possível afiná-la no convertidor, no que se refere ao teor em fósforo, pois, ou a percentagem deste elemento presente era muito baixa (0.1 — 0.2 %) e usava-se o processo ácido, ou então, para percentagens da ordem de 1.7 a 2.0 %, usava-se o processo básico.

Com o aparecimento do processo de Linz, empregando o oxigénio, é já possível tratar gusas com teores em fósforo até 0.5 %.

É este, justamente, o nosso caso, devido ao teor em fósforo do minério de Moncorvo e, no caso do processo de redução escolhido ser o alto forno, o forno eléctrico ou o forno Stürzelberg, devemos empregar o convertidor a oxigénio para tratar cerca de 110.000 t de gusa e 20.000 t de sucatas por ano.

Para este trabalho é necessário instalar 2 convertidores de 10 t, estando um permanentemente de reserva, e uma instalação de produção de oxigénio.

O consumo de oxigénio é de cerca de 60 m^3 / t, sendo o seu custo de produção baixo, numa instalação moderna.

Poderiamos usar uma instalação de convertidores Thomas, com 2 convertidores de 15 t cada um, e que dispensariam o emprego do oxigénio desde que se juntasse minério fosforoso ao leito de fusão, de modo a obter uma gusa com cerca de 1,7 % de P.

O custo da instalação seria no entanto mais elevado, e seria necessário importar o fosfato de cálcio indispensável para se elevar suficientemente o teor em fósforo.

Por outro lado deixaria de ser necessário limitar a quantidade de minério de Moncorvo a empregar no leito de fusão.

Apresenta o processo Thomas ainda o interesse de se obterem cerca de 200 kg de «escória Thomas» com um teor em fósforo de cerca de 8 % que apresenta um certo valor como adubo, e que,

no caso da indústria ficar colocada no Norte do País, será ainda mais de considerar, devido a não existir aí produção de superfosfatos.

C — A laminagem

Conforme já se indicou, o programa-base de laminagem abrange uma produção total de 130.000 t/ano de produtos acabados. O detalhe dos perfis e produtos a fabricar também já foi apresentado.

De acordo com o que já indicámos atrás, podemos então prever a montagem dos seguintes laminadores:

1 laminador para perfis médios e ligeiros, laminando directamente a partir de lingotes de pequeno peso, com duas linhas de acabamento, uma das quais podendo levar o fabrico até ao fil-machine ou platinas para o fabrico da folha de flandres.

1 laminador simples para chapas e perfis pesados, podendo eventualmente preparar os «billets» para o laminador anterior.

Para o fabrico das folhas de flandres e chapas finas, as platinas, depois de cortadas em comprimentos adequados, são aquecidas num forno de reaquecimento, de onde passam a um primeiro grupo duo de 750, que actua como desbastador, passando depois ao segundo, que actua como intermédio e os dois últimos como acabadores. Durante esta operação sofrem ainda dois reaquecimentos, para o que é necessário instalar ao todo 3 fornos de reaquecimento.

À medida que a espessura se vai reduzindo e a platina alastrando, vão-se fazendo sucessivas dobras à chapa, até que a operação termina com pacotes de 8 espessuras.

Estes pacotes são depois cortados e separadas as folhas, que passam então a um forno de recozimento.

Para acabamento, passam as folhas finalmente ao grupo duo de laminagem a frio, de onde seguem para a decapagem e estanhagem pelo sistema de «mergulho a quente».

As folhas terminadas têm as dimensões «standard» de 711 × 508 e a espessura de 0.28.

As chapas finas poderão ter espessuras até 1 mm e dimensões variáveis.

Todos estes reaquecimentos deverão ser feitos empregando o gás de alto forno ou então fuel-oil.

Para produção de fil-machine emprega-se o varão de 8 — 10 mm directamente à saída do laminador de perfis ligeiros.

No caso de vir a optar-se pelo sistema de laminagem a frio de folha de flandres, e atendendo a que a matéria-prima para essa instalação seriam as bandas importadas, haveria quase completa independência entre a instalação de folha de flandres e a restante laminagem.

Conclusões

Lògicamente impunha-se neste ponto o estudo económico dos diferentes processos de redução indicados, conjugados com os processos de fabrico do aço mais adequados a cada caso.

Afigura-se-nos no entanto impossível publicar os cálculos feitos, por sairem já do campo das generalidades em que temos procurado manter este artigo, e ainda porque a grande maioria dos rendimentos, consumos e preços de custo que serviram de base ao nosso estudo foram obtidos através de algumas Empresas Estrangeiras que, em alguns casos, não autorizaram a sua publicação.

Deste modo apenas poderemos indicar de uma maneira genérica quais as conclusões a que estes cálculos nos levaram.

Assim:

Os processos Stürzelberg e Krupp-Renn não são aconselháveis para servir de base à indústria siderúrgica portuguesa. Com efeito, sob o ponto de vista técnico, como vimos, nenhum destes processos se adapta completamente às condições de produção de matérias-primas do País; sob o ponto de vista económico, os preços do lingote de aço resultam mais caros do que pelos processos clássicos de alto forno e forno eléctrico, desde que se trate de produções elevadas.

Apresentam contudo a importante vantagem de poderem funcionar, quase exclusivamente, à base de matérias-primas nacionais, mas este facto, só por si, não chega para recomendar a sua adopção, em face dos preços de fabrico a que conduzem.

Também nenhum deles apresenta as garantias de funcionamento do alto forno e forno eléctrico, pois apesar de já serem bastante experimentados, especialmente o processo Krupp-Renn, ainda existe uma certa especulação técnica quanto à sua aplicação, e as novas instalações a montar ainda são, sob numerosos aspectos, experimen-

tais, desde a disposição do equipamento até aos tipos de máquinas montadas.

Finalmente a fusão e tratamento das lupas Renn em elevada percentagem, como dissemos, nunca foi feita com continuidade e em escala industrial, pelo que a adopção de tal processo vai-nos colocar no papel de pioneiros — pouco recomendável para uma indústria nova.

* * *

O preço da gusa obtida pelo processo Basset--Smidth, e que é conhecido através de elementos fornecidos pela Companhia «Cimento Tejo», apoiada num estudo ùltimamente realizado pela casa F. L. Smidth, que tem 3 unidades deste tipo, é francamente favorável. No entanto, refere-se a uma pequena produção anual e, para produções maiores, será necessário reexaminar a questão.

A gusa obtida poderá pois, eventualmente, contribuir para a siderurgia portuguesa, qualquer que seja a solução adoptada, e na medida que for julgado conveniente.

No entanto, em nossa opinião, não devemos basear inteiramente os nossos cálculos sobre essa pequena fonte de produção.

Encaramo-la todavia como uma possibilidade.

O seu baixo preço é contrabalançado pelo elevado teor em cobre (0,7) e baixo teor em silício.

Este inconveniente pode no entanto ser atenuado desde que a extracção do cobre às cinzas de pirites seja feita de uma maneira mais completa, como mencionamos atrás.

* * *

Com excepção da electrosiderurgia, cujo interesse económico só pode ser exactamente determinado depois de conhecido o preço da energia eléctrica, o alto-forno conduziu-nos aos preços de custo do aço mais favoráveis. Especialmente a combinação do alto-forno com os fornos de fusão eléctricos e os convertidores a oxigénio, que nos deu o preço mais baixo de todos.

Esta combinação apresenta a vantagem de ser possível fazer trabalhar o forno de fusão sòmente durante os 9 meses do ano correspondentes à maior abundância de energia hidroeléctrica, para o que basta, durante os 3 meses de estiagem, empregar só lingotes de aço de convertidores na nossa laminagem, ou então reaquecer parte dos lingotes produzidos durante a época de funcionamento do forno de fusão, e que terão de ser convenientemente armazenados para esse fim.

A escolha do processo Thomas ou a oxigénio para a afinação em convertidores, dependerá de detalhes a considerar no estudo final da instalação.

Embora o convertidor a oxigénio tenha conduzido a custos ligeiramente inferiores, bastará qualquer pequena alteração, por exemplo no valor da escória Thomas, para alterar a posição relativa dos dois processos.

Vamos pois, de momento, escolher a solução de convertidores a oxigénio, ficando a escolha definitiva para um estudo final do problema.

Como principal inconveniente do alto forno, temos o facto de ser necessário importar anualmente 140.000 t de coque, aproximadamente.

Este inconveniente, no entanto, é em grande parte atenuado, sob o ponto de vista económico, se atendermos ao seguinte :

Será possível e mesmo vantajoso, como vimos, instalar uma coquefacção como parte da instalação siderúrgica. Deste modo podemos empregar, parcialmente, carvões metropolitanos e ultramarinos, e o valor dos carvões importados também será menor. A indústria do coque acarreta um interessantíssimo programa de indústrias químicas, sendo possível, além de outros, obter os seguintes produtos :

gás de coque
alcatrão
sulfato de amónio
licor amoniacal
óleos leves
benzol
fenolftaleina
creosote
etc.

Por outro lado, a saída de divisas, mesmo no máximo previsto, será quase completamente compensada pela economia realizada pela não importação (que estava aceite) das bandas para laminagem a frio da folha de flandres — desde que se adopte o processo de lamigem a quente, a que temos feito referência.

Finalmente, sob o ponto de vista de segurança de funcionamento da instalação, em caso de crise

económica ou política mundial, que impeça ou dificulte as importações de coque, poderemos, criando um stock de carvão adequado e recorrendo, em caso de necessidade, a carvões de madeira — em resumo: adoptando soluções de emergência — manter a instalação em funcionamento, embora com a produção parcialmente reduzida.

Mas, como já dissemos atrás, não devemos planear uma indústria com o fim de poder resistir às épocas anormais, com sacrifício do seu rendimento económico durante os tempos de normalidade.

A escolha do alto forno ou do forno eléctrico pressupõe a utilização dos minérios mais ricos de Moncorvo. Durante alguns anos, será necessário pôr de parte o minério mais pobre, podendo constituir-se um stock importante de alguns milhões de toneladas, na própria mina. O aumento do custo da exploração resultante deste procedimento será plenamente compensado pela melhor qualidade do minério aproveitado.

Mais tarde, quando a indústria estiver mais desenvolvida, poder-se-ão então aproveitar os minérios mais pobres, quer numa instalação Krup-Renn que forneça lupas para o alto forno, quer em qualquer outro processo que possa vir a oferecer interesse.

Este procedimento é perfeitamente normal, e foi durante muitos anos adoptado em quase todos os países com indústrias siderúrgicas.

Vemos pois que, como dissemos, o problema, quanto a matérias-primas, surge verdadeiramente no que se refere aos carvões e não quanto aos minérios.

O consumo de energia pedido pelo forno de fusão eléctrico previsto, é modesto — 34.5×10^6 kKh por ano — e julgamos que não haverá qualquer dificuldade em assegurar o seu fornecimento a uma tarifa favorável e vizinha daquela que serviu de base aos nossos cálculos.

* * *

O forno de redução eléctrico apresenta-se, no seu conjunto, como a solução mais atraente sob o ponto de vista técnico.

Sob o ponto de vista económico, provàvelmente também o será, desde que o preço da energia seja inferior a $14. Na realidade, não julgamos ser este o maior inconveniente a vencer, para se adoptar este processo.

Com efeito, *julgamos difícil assegurar*, de 1957 até 1962, ou seja durante os primeiros 5 anos de vida da nossa indústria, o fornecimento dos 400×10^6 kWh por ano, que são necessários. Este fornecimento torna-se tanto mais difícil de obter quanto é certo que, para assegurar a boa economia do processo, não é fácil prever a paragem dos fornos de redução durante os meses de estiagem.

Julgamos sim que, no futuro desenvolvimento da instalação, ou seja no começo da construção do 2.º escalão previsto, e cuja necessidade se fará sentir logo após a conclusão do 1.º escalão, haverá todo o interesse em instalar fornos de redução de 13.500 KVA (100 t/dia) com um consumo anual de cerca de 80×10^6 kWh, e que poderão ser montados um a um, à medida que o consumo de aço do país o justifique, e que o fornecimento de energia eléctrica já possa ser assegurado.

Caminharemos assim para uma instalação mista com um alto forno e um ou mais fornos de redução eléctricos, que se completarão, assegurando sempre uma produção mínima de aços: o alto forno em anos de estiagem, os fornos eléctricos em anos de crise que dificulte a importação do coque.

Em resumo: parece-nos aconselhável, neste primeiro escalão considerado, a instalação de:

1 alto forno de 500 t/dia
1 forno eléctrico de fusão de 40 t
2 convertidores de 10 t.

A verificar-se a impossibilidade de obter o fornecimento de energia eléctrica necessária, ou a preço vizinho do indicado, então recomendamos a escolha de fornos Siemens-Martin em substituição do forno eléctrico.

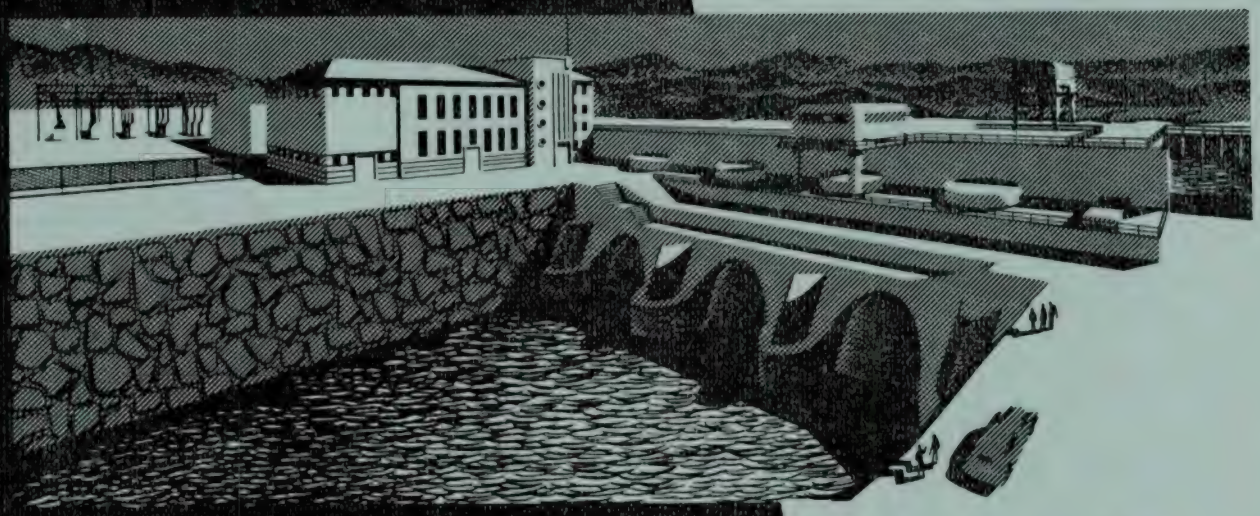
A fim de não se perder mais tempo em ensaios e estudos, podemos arrancar com combustíveis importados e, no entanto, proceder a todos os ensaios quanto à utilização dos combustíveis nacionais, confiantes em que mais tarde ou mais cedo se encontrará solução satisfatória.

Teremos assim, para base de indústria, uma instalação clássica e de resultados seguros.

O desenvolvimento futuro da instalação poderá então ser feito baseado noutros processos de

EFA-ACEC
SOPREL-ACEC

as maiores fábricas portuguesas de material eléctrico



A EFA e a SOPREL orgulham-se de contribuir para o desenvolvimento da província de Angola, participando no equipamento eléctrico da nova Central hidroeléctrica de Matala, no Rio Cunene, adjudicado aos seus associados ACEC-ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE CHARLEROI.

DISJUNTORES
SECCIONADORES
APARELHAGEM DE PROTECÇÃO
FUSÍVEIS DE ALTO PODER DE CORTE
QUADROS
POSTOS DE TRANSFORMAÇÃO (TIPO MONOBLOCO)
IRRADIADORES
TERMO-ACUMULADORES
ASCENSORES

MOTORES ELÉCTRICOS
TRANSFORMADORES
ELECTRO-BOMBAS
POLIDORES
TRANSFORMADORES DE SOLDADURA
MOTORES DE ASCENSORES
MOTORES ESPECIAIS

SOPREL - SOCIEDADE DE OBRAS E PROJECTOS DE ELECTRICIDADE
SEDE E FÁBRICA EM MATOSINHOS

EFA-EMPRESA FABRIL DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS
SEDE E FÁBRICA EM S. MAMEDE DE INFESTA

DISTRIBUIDORES GERAIS:

INDÚSTRIAS ELÉCTRICAS ASSOCIADAS - INEL
SEDE EM LISBOA: RUA RODRIGO DA FONSECA, 76, 4.º
TELEF.: 55317, 56582 E 57158 — TELEG.: "INELA-LISBOA"
DELEGAÇÃO NO PORTO: RUA DE SANTA CATARINA, 470
TELEF.: 28841, 28842 E 28843 — TELEG.: "INELAPO-PORTO"

É A HUMIDADE UM OBSTÁCULO PARA A VOSSA PRODUÇÃO?

O «LECTRODRYER BIRLEC» resolver-lhe-á esse grave problema, eliminando o excesso de humidade do ar ambiente — ou de qualquer outro gás — conforme as necessidades da vossa indústria.

Fabricantes:

BIRLEC **LIMITED**

BIRMINGHAM — Inglaterra

Agentes:

AHLERS, LINDLEY, L.DA

Sede:

Rua Ferregial de Baixo, 33 - 2.º

LISBOA — Telefone 21321/4

Filial do Norte:

Palácio do Atlântico, 408

Praça D. João I

PORTO — Telefone 28384

redução que completem o alto-forno: em primeiro lugar fornos de redução eléctricos, depois uma instalação Krupp-Renn que possa tratar os minérios mais pobres de Moncorvo, produzindo lupas que então haveria vantagem em empregar, quer no alto forno, quer noutras instalações, e bem dentro das possibilidades de aplicação conhecidas.

Na hipótese, já apresentada, de um desenvolvimento rápido do programa hidráulico nacional, especialmente com a construção de uma segunda barragem no Douro Internacional, que seria afectada quase exclusivamente à siderurgia, o *interesse da redução em forno eléctrico passaria a ser imediato* e, como dissemos, seria então a solução mais aconselhável do problema siderúgico nacional.

No entanto, aqui, cessa a nossa capacidade para discutir o problema siderúrgico português, na ignorância em que estamos das condições do fornecimento de energia eléctrica que poderão vir a existir.

Julgamos, no entanto, ter deixado o problema suficientemente esclarecido, restando pois aguardar qual a decisão superior relativamente a esta importante questão.

V Congresso da Associação Internacional de Pontes e Estruturas

O V Congresso da A. I. P. C. (Association Internationale des Ponts et Charpentes) terá lugar em Lisboa de 18 a 23 de junho de 1956.

Os temas previstos para as sessões de trabalho do Congresso de 1956 são:

Questões gerais

I. Solicitações das pontes e das estruturas.
   - *a*) Comportamento dos materiais e das obras sob as acções estáticas de longa duração;
   - *b*) Comportamento dos materiais e das obras sob as acções dinâmicas (vibrações, fadiga, choque).

II. Abóbadas ligeiras, lajes, paredes ligeiras (Flächentragwerke).
   - *a*) Cálculo geral (elást. e plást.); métodos experimentais;
   - *b*) Adaptação dos métodos de cálculo às construções metálicas;
   - *c*) Adaptação dos métodos de cálculo às construções em betão armado.

Construções metálicas

III. As construções metálicas soldadas.
   - *a*) Estudo sistemático de formas construtivas (teoria e experimentação);
   - *b*) Os aços empregados em construção soldada;
   - *c*) Diferentes processos de soldadura utilizados na realização das ligações.

IV. Construções em aço e em ligas leves.
   - *a*) Construções ligeiras em aço;
   - *b*) Construções em ligas leves;
   - *c*) Estruturas diversas (pilares, etc.);
   - *d*) Conservação das construções metálicas.

Construções em betão armado e em betão pré-esforçado

V. Questões especiais relativas ao betão armado e ao betão pré-esforçado.
   - *a*) Formação (utilização dos aços de alta resistência ou de alta aderência, ancoragem, repartição das armaduras, esforço transverso);
   - *b*) Alteração das construções sob a influência dos agentes atmosféricos e das variações da temperatura;
   - *c*) Segurança (cálculo ao fendilhamento, à rotura, etc.).

VI. Prática do betão armado e do betão pré-esforçado.
   - *a*) Realização da construção (andaimes, cofragens, fabricação e controle do betão, transporte do betão, ligação de elementos pré-fabricados, observação, controle e conservação das obras;
   - *b*) Inovações.

Convidam-se os membros da A. I. P. C. que desejarem dar uma contribuição à «Publicação Preliminar» para enviarem ao Secretariado Geral da A. I. P. C., Escola Politécnica Federal de Zurich, Suíça, um curto resumo até 31 de Dezembro de 1954 e o manuscrito integral até 15 de Abril de 1955.

Cada manuscrito deve ser estabelecido em duplo exemplar escrito à máquina, devendo os planos e desenhos serem executados a tinta da China e os textos correspondentes a lápis, se possível sobre uma folha separada.

(De *L'Ossature Métallique*)

C. D. 621.311.5/91

Elementos sobre a produção e o consumo de energia na rede eléctrica nacional

— Elementos extraídos das estatísticas mensais do Repartidor Nacional de Cargas (R. N. C.) preparadas nos Serviços do R. N. C. a cargo da Companhia Nacional de Electricidade —

NOTA: *As produções e os consumos das empresas do R. N. C. representam cerca de 93 % dos totais do País.*

AGOSTO

I — Elementos gerais

a) Mensais (mês de Agosto) 10^6 kWh

	1953	1954	Variação %
Produção hidráulica (P_h)	35,1	113,2 (2)	+ 223
Produção térmica (P_t) . .	56,4	8,9 (3)	— 84
Produção total (P_T) . . .	91,5	122,1	+ 33
Cons. electroquímico (C_{eq})	0,3	19,0	-
Outros consumos ($C_T - C_{eq}$)	76,3	82,8	+ 9
Consumo total (C_T) (1) . .	76,6	101,8	+ 33

b) Acumulados (de 1 de Janeiro a 31 de Agosto) 10^6 kWh

	1953	1954	Variação %
Produção hidráulica (P_h)	599,8	991,6 (4)	+ 65
Produção térmica (P_t) . .	240,2	37,3 (5)	— 85
Produção total (P_T) . . .	840,0	1028,9	+ 22
Cons. electroquímico (C_{eq})	102,7	201,8	+ 97
Outros consumos ($C_T - C_{eq}$)	622,8	679,7	+ 9
Consumo total (C_T) (1) . .	725,5	881,5	+ 21

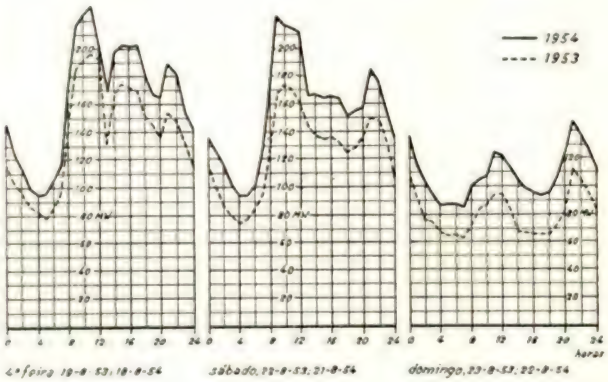
Notas:

(1) No consumo total (C_T) estão incluídas as perdas nas redes de transporte e distribuição.

(2) 93 % P_T. (3) 7 % P_T. (4) 96 % P_T. (5) 4 % P_T

II — Diagramas de carga da produção

	4.ª feira: 19-8-953	4.ª feira: 18-8-954
Produção hidráulica (P_h) — MWh	1568	3798
Produção térmica (P_t) — MWh . .	1768	301
Produção total (P_T) — MWh . . .	3336	4099
Utilização da ponta (U) — horas	16,8	17,3
Factor de carga (α)	0,70	0,72
Relação $\frac{\text{Pot. mín.}}{\text{Pot. máx.}}$ (r)	0,10	0,41



III — Energia armazenada nas principais albufeiras no fim do mês de Agosto de 1954

Albufeira	Energia armazenada 10^6 kWh	Energia armazenada % (1)
Venda Nova	52,1	48,8
Salamonde	11,4	83,1
Guilhofrei	2,1	24,8
Lagoa Comprida	13,3	41,9
Santa Luzia	16,8	49,6
Cabril.	61,7	22,5
Castelo do Bode	133,9	81,6
Pracana.	1,4	13,4
Póvoa.	5,4	37,8
Total	300,1	45,2

Nota:

(1) Coeficiente de enchimento em energia das albufeiras.

C. D. 532.5

TRANSPORTE DE LÍQUIDOS

APLICAÇÕES DA EXPRESSÃO FUNDAMENTAL

PELO ENG. QUÍMICO (I. S. T) ANTÓNIO SALES LUÍS

Como se sabe, [1] a expressão fundamental, do transporte de líquidos, escreve-se:

$$\tau = \frac{\Delta p}{\gamma} + \frac{\alpha \Delta V^2}{2g} + \Delta h + H \qquad (1)$$

em que:

- τ ... trabalho, por unidade de peso de líquido circulante
- p ... pressão
- γ ... peso específico do líquido circulante
- V ... velocidade linear
- α ... coeficiente cujo valor é:
  - $\alpha \simeq 1$ ... regime turbulento
  - $\alpha \simeq 2$ ... regime viscoso ou laminar
- Δh ... diferença entre a cota do ponto final e a do ponto inicial
- H ... perda de carga

Pretende-se, neste artigo, fazer, como aplicações dessa expressão, o estudo dos seguintes casos relativos ao transporte de líquidos:

- — condutas nas quais existem intercalados aparelhos de transporte (bombas);
- — condutas em série;
- — condutas em derivação;
- — condutas ramificadas.

No final, faz-se referência à nomenclatura típica utilizada na literatura americana.

I] *Bombas*

Consideremos o caso esquemàticamente representado na fig. 1:

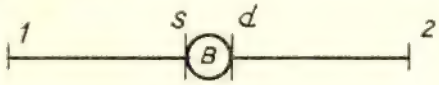


Fig. 1

em que:

- 1 ... ponto de toma
- 2 ... ponto de descarga
- s ... ponto central da flange de sucção da bomba
- d ... ponto central da flange de descarga da bomba
- B ... bomba.

Para o troço (1 a s), compreendido entre o ponto de toma e a flange de sucção, a equação fundamental escreve-se:

$$0 = \frac{p_s - p_1}{\gamma} + \frac{\alpha (V_s^2 - V_1^2)}{2g} + (h_s - h_1) + H_s \qquad (2)$$

sendo H_s a perda de carga nesse troço. A equação (2) pode escrever-se:

$$\frac{p_s}{\gamma} + \frac{\alpha V_s^2}{2g} = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha V_1^2}{2g} - (h_s - h_1) - H_s \qquad (3)$$

Como se sabe, à soma da pressão estática com a pressão cinética dá-se o nome de pressão dinâmica. Representaremos essa soma, expressa como altura de uma coluna de líquido circulante, por $\mathscr{H}$. Então, a equação (3) escreve-se:

$$\mathscr{H}_s = \mathscr{H}_1 - (h_s - h_1) - H_s \qquad (4)$$

Quer dizer: a pressão dinâmica na flange de sucção da bomba representa a pressão dinâmica no ponto de toma diminuida das seguintes parcelas:

- — a diferença de cotas do ponto central da flange de sucção e do ponto de toma
- — a perda de carga.

Como o menor valor que a pressão na flange de sucção p_s pode tomar é igual à tensão de vapor do líquido à temperatura de serviço, o primeiro membro é essencialmente positivo. Então, no caso ideal de ser nula a perda da carga na conduta de sucção, vem:

$$\mathscr{H}_1 - (h_s - h_1) > 0$$

ou

$$h_s - h_1 < \mathscr{H}_1$$

[1] «Técnica», Outubro, 1954. «Correlação entre os princípios da Termodinâmica e a Dinâmica dos Fluidos».

A diferença de cotas ($h_s - h_1$) deve ser inferior à pressão dinâmica no ponto de toma. No caso corrente de ser:

$$p_1 = 1 \text{ at.}$$
$$V_1 = 0$$
$$\gamma = 10^3 \text{ kg . m}^{-3} \text{ (água)}$$

resulta:

$$h_s - h_1 < 10 \text{ m}$$

Esta é a limitação corrente no que se refere à posição relativa do ponto de toma e da bomba. No entanto, dada a sua importância, pretendemos esclarecer melhor o significado da equação (4), apresentando dois exemplos ([1]). Admitiremos as seguintes condições:

— densidade do líquido $d = 0{,}5$
— velocidade do líquido na flange de sucção:

$$V_s = \sqrt{19{,}6} \quad \text{m . s}^{-1}$$

— velocidade do líquido no ponto de toma:

$$V_1 = 0$$

— movimento do líquido em regime turbulento
— perda de carga na conduta: desprezível
— perda de carga na entrada da bomba: 3 m (líquido circulante).

No primeiro caso, a bomba está a um nível inferior ao depósito e, no segundo caso, a um nível superior.

a) *1.º Caso:*

Está, esquemàticamente, representado na figura 2. O líquido está contido num depósito fechado, em equilíbrio com o próprio vapor: a pressão reinante é igual à tensão de vapor do líquido, à temperatura de serviço. Então, da equação (4):

$$\frac{p_s}{\gamma} + \frac{\alpha V_s^2}{2g} = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha V_1^2}{2g} - (h_s - h_1) - H_s$$

como:

$$p_s \geqslant p_v \text{ [2]}$$
$$V_s = \sqrt{19{,}6} \quad \text{m . s}^{-1}$$
$$\alpha = 1$$

([1]) Estes exemplos são inspirados no artigo «Les pompes centrifuges dans les centrales thermiques», R. de Saint Vaulry, Revue Technique Sulzer, 1948, n.º 3, pg. 8.

([2]) Se assim não fosse, o líquido entraria em ebulição, provocando a formação de pequenas bolhas gasosas e dando, assim, origem ao fenómeno de cavitação.

$$p_1 = p_v$$
$$V_1 = 0$$
$$h_s - h_1 = -x \text{ m}$$
$$H_s = 3 \text{ m}$$

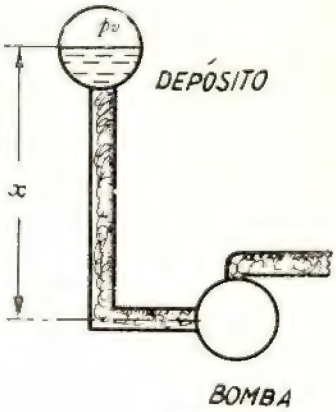


Fig. 2

resulta:

$$\frac{p_v}{\gamma} + 1 \text{ m} < \frac{p_v}{\gamma} + x \text{ m} - 3 \text{ m}$$

ou:

$$x \geqslant 4 \text{ m}$$

Quer dizer, qualquer que seja a tensão de vapor do líquido, a altura a que deve ficar o depósito deve ser maior ou igual a 4 m.

b) *2.º caso:*

Está, esquemàticamente, representado na fig. 3. O líquido está contido num depósito aberto, à pressão atmosférica ([1]) (1 kg. cm ^{2}). Então, da equação (4):

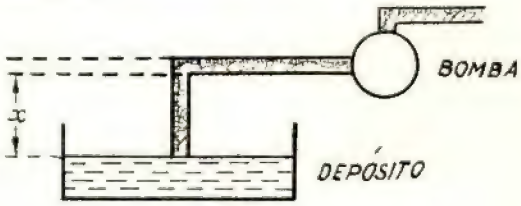


Fig. 3

$$\frac{p_s}{\gamma} + \frac{\alpha V_s^2}{2g} = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha V_1^2}{2g} - (h_s - h_1) - H_s$$

como:

$$p_s \geqslant p_v$$
$$V_s = \sqrt{19{,}6} \text{ ms}^{-1}$$
$$p_1 = p_a = 1 \text{ kg.cm}^{-2}$$

([1]) A tensão de vapor do líquido, à temperatura de serviço, é òbviamente inferior à pressão atmosférica.

$$V_1 = 0$$
$$h_s - h_1 = + x \text{ m}$$
$$H_s = 3 \text{ m}$$

vem:

$$\frac{p_v}{\gamma} + 1 \text{ m} \leqslant \frac{p_a}{\gamma} - x \text{ m} - 3 \text{ m}$$

ou

$$x \leqslant \frac{p_a - p_v}{\gamma} - 4 \text{ m}$$

Neste caso, portanto, a diferença de cotas x depende do valor da tensão de vapor à temperatura de serviço. Assim:

— se p_v for desprezível em relação a p_a, vem:

$$x \leqslant \frac{1 \text{ kg.cm}^{-2}}{0{,}5 \text{ kg.dm}^{-3}} - 4 \text{ m}$$
$$\leqslant (20 - 4) \text{ m}$$
$$\leqslant 16 \text{ m}$$

— se, por exemplo, $p_v = 0{,}7 \text{ kg.cm}^{-2}$, vem:

$$x \leqslant \frac{0{,}3 \text{ kg.cm}^{-2}}{0{,}5 \text{ kg.dm}^{-3}} - 4 \text{ m}$$
$$\leqslant (6 - 4) \text{ m}$$
$$\leqslant 2 \text{ m}$$

— se, por exemplo, $p_v = 0{,}98 \text{ kg.cm}^{-2}$, vem:

$$x \leqslant \frac{0{,}02 \text{ kg.cm}^{-2}}{0{,}5 \text{ kg.dm}^{-3}} - 4 \text{ m}$$
$$\leqslant (4 - 4) \text{ m}$$
$$\leqslant 0 \text{ m}$$

Anàlogamente, para o troço (d a 2), compreendido entre a flange de descarga e o ponto de descarga, a equação fundamental escreve-se:

$$0 = \frac{p_2 - p_d}{\gamma} + \frac{\alpha (V_2^2 - V_d^2)}{2g} + (h_2 - h_d) + H_d \quad (5)$$

sendo H_d a perda de carga nesse troço.

Então:

$$\frac{p_d}{\gamma} + \frac{\alpha V_d^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha V_2^2}{2g} + (h_2 - h_d) + H_d$$

ou

$$\mathscr{H}_d = \mathscr{H}_2 + (h_2 - h_d) + H_d \quad (6)$$

A pressão dinâmica na flange de descarga representa a pressão dinâmica no ponto de descarga, acrescido das parcelas:

— a diferença entre a cota do ponto de descarga e o ponto central da flange de descarga da bomba

— a perda de carga na conduta de descarga.

Para a conduta total (1 a 2), vem:

$$Z = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + \frac{\alpha (V_2^2 - V_1^2)}{2g} + (h_2 - h_1) + H \quad (7)$$

Atendendo a que:

$$H = H_s + H_d$$
$$h_2 - h_1 = (h_2 - h_d) + (h_s - h_1)$$

resultante de se desprezar a perda de carga e a variação de cotas entre a flange de sucção e a flange de descarga da bomba, a equacão (7) escreve-se:

$$Z = \left\{ \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha V_2^2}{2g} + (h_2 - h_d) + H_d \right\} -$$
$$- \left\{ \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha V_1^2}{2g} - (h_s - h_1) - H_s \right\}$$
$$= \mathscr{H}_d - \mathscr{H}_s' \quad (8)$$

O trabalho, por unidade de peso do líquido circulante, é igual à diferença entre a pressão dinâmica na flange de descarga e a pressão dinâmica na flange de sucção, expressas como altura de uma coluna do líquido.

II] *Condutas em série*

Consideremos várias condutas de diâmetros diferentes, ligadas entre si. No cálculo e projecto de canalizações, há por vezes interesse em substituir essas condutas por uma única (fictícia), dita equivalente, tal que permita a passagem dum mesmo caudal e dê origem a uma perda de carga igual à soma das perdas de carga. Sejam, então:

$$L_1 \quad L_2 \quad \ldots \quad L_n$$
$$D_1 \quad D_2 \quad \ldots \quad D_n$$

o comprimento e o diâmetro, respectivamente, das canalizações 1, 2... n. O problema consiste em substituir essas canalizações por outras equivalentes, de comprimentos:

$$(L_1)_e \quad (L_2)_e \quad \ldots \quad (L_n)_e$$

e diâmetros:

$$(D_1)_e = (D_2)_e = \ldots = (D_n)_e = D_e$$

O comprimento da conduta equivalente é:

$$L_e = \sum_i (L_i)_e \qquad (9)$$

Do ponto de vista prático, o problema consiste em determinar o valor de L_e, correspondente a um valor (arbitrado) de D_e.

O valor do coeficiente de atrito é o mesmo para todos os troços:

$$(f_1)_e = (f_2)_e = \ldots = (f_n)_e = f_e$$

Na verdade, como o diâmetro e o caudal em massa têm o mesmo valor para todos os troços equivalentes, o valor do número de Reynolds:

$$N = \frac{D\,\rho\,V}{\mu} = \frac{4\,m}{\pi\,\mu\,D}$$

é igual para todos os troços. Sendo esses troços fictícios podemos admitir que têm idêntica rugosidade, resultando assim um valor comum para o coeficiente de atrito [1].

Então, como:

$$H = \frac{4\,f\,L}{D}\;\frac{V^2}{2\,g}$$

$$= \frac{4\,f\,L}{D}\;\frac{16\,m^2}{2\,g\,.\,\rho^2\,.\,\pi^2\,D^4}$$

$$= \frac{32\,m^2}{\pi^2\,.\,\rho^2\,.\,g}\;.\;\frac{f\,L}{D^5}$$

em que:

m . . . caudal em massa

ρ . . . massa específica

vem, considerando os troços *i* real e equivalente:

$$\frac{f_i\,L_i}{D_i^{\,5}} = \frac{f_e\,(L_i)_e}{D_e^{\,5}}$$

ou

$$(L_i)_e = L_i\,.\,\frac{f_i}{f_e}\,.\left(\frac{D_e}{D_i}\right)^5 \qquad (10)$$

A relação entre os comprimentos do troço real e equivalente varia com a 5.ª potência da relação entre os diâmetros. Na literatura, encontram-se tabelas que permitem determinar directamente o o valor de $(L_i)_e$. Note-se ,no entanto, que, nessas tabelas, se admite ser $f_i = f_e$ o que nem sempre é lícito e, consequentemente, pode conduzir a resultados falseados.

Determinado o comprimento de cada um dos troços, calcula-se o comprimento da conduta equivalente pela equação (9):

$$L_e = \sum_i (L_i)_e$$

A conduta equivalente fica, então, caracterizada pelo diâmetro D_e (arbitrado), pelo coeficiente de atrito f_e e pelo comprimento L_e.

III] *Condutas em derivação*

Para simplificar a exposição, consideraremos existirem apenas 2 ramos. Seja o caso esquemàticamente representado na figura 4.

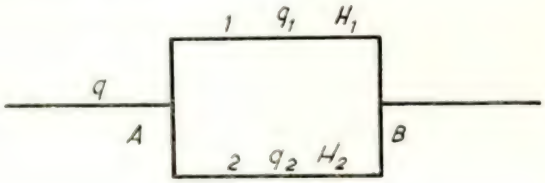


Fig. 4

em que:

q . . . caudal total

q_1 . . . caudal no ramo 1

q_2 . . . caudal no ramo 2

H_1 . . . perda de carga no ramo 1

H_2 . . . perda de carga no ramo 2

Como os líquidos são fluidos incompressíveis, vem:

$$q = q_1 + q_2$$

Por outro lado, a equação fundamental escreve-se:

— em relação ao ramo 1:

$$0 = \frac{p_B - p_A}{\gamma} + \frac{\alpha\,(V_B^2 - V_A^2)}{2\,g} + (h_B - h_A) + H_1$$

— em relação ao ramo 2:

$$0 = \frac{p_B - p_A}{\gamma} + \frac{\alpha\,(V_B^2 - V_A^2)}{2\,g} + (h_B - h_A) + H_2$$

[1] O coeficiente de atrito depende do número de Reynolds e da rugosidade relativa.

Subtraindo, termo a termo, resulta:

$$H_1 = H_2$$

De um modo geral:

$$q = \Sigma\, q_i$$

$$H_1 = H_2 = \ldots = H_n \qquad (10)$$

A perda de carga tem o mesmo valor em todos os ramos da derivação.

Como:

$$H = \frac{4\,f\,L}{D}\;\frac{V^2}{2\,g}$$

e

$$V = \frac{4\,q}{\pi\,D^2}$$

vem:

$$\frac{4\,f_1\,L_1}{D_1}\cdot\frac{16\,q_1^2}{\pi^2\,D_1^4} = \frac{4\,f_2\,L_2}{D_2}\cdot\frac{16\,q_2^2}{\pi^2\,D_2^4}$$

ou:

$$\frac{q_1}{q_2} = \sqrt[2]{\frac{D_1^5}{D_2^5}\times\frac{f_2\,L_2}{f_1\,L_1}}$$

No caso geral:

$$\frac{q_i}{q_k} = \sqrt[2]{\frac{D_i^5}{D_k^5}\times\frac{f_k\,L_k}{f_i\,L_i}} \qquad (11)$$

Note-se que são desconhecidos os valores de f_i e f_k. Em primeira aproximação, podemos admitir que:

$$f_1 = f_2 = \ldots = f_n$$

Então, representando por α_i a relação:

$$\alpha_i = \sqrt{\frac{D_i^5}{L_i}}$$

vem:

$$\frac{q_i}{q_k} = \frac{\alpha_i}{\alpha_k} \qquad (12)$$

Em função do caudal total q:

$$q = \sum_i q_i$$

resulta:

$$q_i = q\,\frac{\alpha_i}{\Sigma\,\alpha_i} \qquad (13)$$

A subsequente determinação dos coeficientes de atrito permite corrigir o resultado atingido, por aproximações sucessivas.

No cálculo e projecto de canalização interessa, muitas vezes, substituir a derivação por uma conduta única equivalente. Sejam L_e e D_e, o comprimento e diâmetro dessa canalização. O problema resolve-se em duas étapes:

a) substituindo essas condutas, de comprimentos diferentes, por condutas de igual comprimento. Assim, no ramo *i*, a conduta de comprimento L_i, diâmetro D_i e coeficiente de atrito f_i é substituída por uma conduta de diâmetro d_i, de comprimento L_e e coeficiente de atrito f_e (arbitrado) (1). Em ambas estas condutas, a perda de carga H_i o o caudal transportado q_i devem ter o mesmo valor.

Como:

$$H_i = \frac{4\,f_i\,L_i}{D_i}\;\frac{16\,q_i^2}{2\,g\,.\,\pi^2\,D_i^4}$$

vem:

$$\frac{f_i\,L_i}{D_i^5} = \frac{f_e\,L_e}{d_i^5}$$

ou

$$d_i = D_i\,\sqrt[5]{\frac{f_e\,L_e}{f_i\,L_i}} \qquad (14)$$

Note-se que, nesta expressão é desconhecido o valor de f_i. Em primeira aproximação, pode admitir-se:

$$f_i = 5\times10^{-3}$$

No entanto, em cálculos rigorosos, deve calcular-se o caudal como foi indicado (equações 11, 12 e 13) e, em função dele, o valor de f_i.

b) Substituindo essas condutas de igual comprimento L_e e de igual coeficiente de atrito f_e por uma única de comprimento L_e, diâmetro D_e e coeficiente de atrito f_e. O caudal nessa conduta é igual à soma dos caudais que transitam nas *n* condutas; a perda de carga é a mesma. Então, como:

---

(1) Sugere-se o valor $fe = 10^{-2}$. Na verdade, em regime turbulento, há sempre possibilidade de tornar legítimo esse valor, qualquer que seja o valor do número de Reynolds, por uma escolha conveniente do valor da rugosidade relativa (as condutas são fictícias).

$$H = H_i = \frac{4\, f_e\, L_e}{d_i} \; \frac{16\, q_i^2}{2\, g\, \pi^2\, d_i^4}$$

vem:

$$q_i = \sqrt{\frac{g\, \pi^2 . d_i^5 . H}{32\, f_e\, L_e}}$$

e

$$q = \sqrt{\frac{g . \pi^2 . D_e^5 . H}{32 . f_e . L_e}}$$

Sendo:

$$q = \sum_i q_i$$

resulta:

$$D_e = (d_1^{5/2} + d_2^{5/2} + \dots + d_n^{5/2})^{2/5} \quad (15)$$

A conduta equivalente fica, assim, caracterizada pelo comprimento L_e, diâmetro D_e e coeficiente de atrito f_e. A rugosidade relativa desta conduta (fictícia) é determinada de modo que o coeficiente de atrito corresponda ao número de Reynolds:

$$N = \frac{D_e\, \rho\, V}{\mu} = \frac{4\, \rho\, q}{\pi\, \mu\, D_e}$$

IV] *Condutas Ramificadas*

Consideremos o caso esquemàticamente representado na fig. 5:

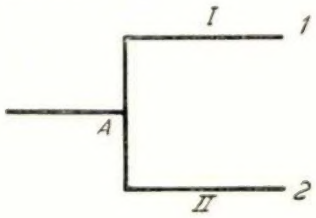


Fig. 5

em que:

1... ponto de descarga do ramo I
2... ponto de descarga do ramo II

Em relação ao ramo I, a equação fundamental escreve-se:

$$z_1 = \frac{p_1 - p_A}{\gamma} + (h_1 - h_A) + \frac{\alpha (V_1^2 - V_A^2)}{2\, g} + H_1$$

e em relação ao ramo II:

$$z_2 = \frac{p_2 - p_A}{\gamma} + (h_2 - h_A) + \frac{\alpha (V_2^2 - V_A^2)}{2\, g} + H_2$$

Subtraindo estas equações, termo a termo, resulta:

$$-z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + h_1 + \frac{\alpha V_1^2}{2\, g} + H_1 = -z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha V_2^2}{2\, g} + H_2 \quad (16)$$

ou, não havendo aparelhos de transporte intercalados nos ramos:

$$\frac{p_1}{\gamma} + h_1 + \frac{\alpha V_1^2}{2\, g} + H_1 = \frac{p_2}{\gamma} + h_2 + \frac{\alpha V_2^2}{2\, g} + H_2 \quad (17)$$

Atendendo a que, para condutas circulares, é

$$\frac{V^2}{2\, g} = \frac{16\, q^2}{2\, g\, \pi^2\, D^4}$$

e

$$H = \frac{4\, f\, L}{D} \cdot \frac{V^2}{2\, g}$$

a equação (17) escreve-se:

$$\frac{p_1}{\gamma} + h_1 + \frac{\alpha . 16\, q_1^2}{2\, g\, \pi^2\, D_1^4} + \frac{4\, f_1\, L_1}{D_1} \cdot \frac{16\, q_1^2}{2\, g\, \pi^2\, D_1^4}$$

$$= \frac{p^2}{\gamma} + h_2 + \frac{\alpha . 16\, q_2^2}{2\, g\, \pi^2\, D_2^4} + \frac{4\, f_2\, L_2}{D_2} \cdot \frac{16\, q_2^2}{2\, g\, \pi^2\, D_2^4}$$

ou:

$$\frac{p_1}{\gamma} + h_1 + \frac{16\, q_1^2}{2\, g\, \pi^2} \left(\frac{\alpha D_1 + 4\, f_1 L_1}{D_1^5} \right) = \frac{p_2}{\gamma} + h_2 + \frac{16\, q_2^2}{2\, g\, \pi^2} \left(\frac{\alpha D_2 + 4\, f_2 L_2}{D_2^5} \right)$$

donde:

$$\frac{2\, g\, \pi^2}{16} \left(\frac{p_1}{\gamma} + h_1 \right) + q_1^2 \left(\frac{\alpha_1 D_1 + 4\, f_1 L_1}{D_1^5} \right) = \frac{2\, g\, \pi^2}{16} \left(\frac{p^2}{\gamma} + h_2 \right) + q_2^2 \left(\frac{\alpha_2 D_2 + 4\, f_2 L_2}{D_2^5} \right) \quad (18)$$

Fazendo:

$$\frac{p_i}{\gamma} + h_i = b_i \quad (19)$$

e

$$\sqrt{\frac{D_i^5}{\alpha_i D_i^2 + 4\, f_i L_i}} = \beta_i \quad (20)$$

vem, finalmente:

$$\frac{2\, g\, \pi^2}{16} . b_1 + \frac{q_1^2}{\beta_1^2} = \frac{2\, g\, \pi^2}{16} . b_2 + \frac{q_2^2}{\beta_2^2} \quad (21)$$

No caso geral de ser a ramificação constituída por n condutas, vem anàlogamente:

$$\frac{2\,g\,\pi^2}{16}\,.\,b_i + \frac{q_i^2}{\beta_i^2} = \frac{2\,g\,\pi^2}{16}\,.\,b_k + \frac{q_k^2}{\beta_k^2} \qquad (22)$$

Este sistema de equações e a equação da continuidade:

$$q = \sum_i q_i \qquad (23)$$

permitem resolver o problema. Na verdade, admitindo essa primeira aproximação que $b_i = b_k$, vem:

$$\frac{q_i^2}{\beta_i^2} = \frac{q_k^2}{\beta_k^2} \qquad (24)$$

que substituída na equação (23) conduz a:

$$q_i = q\,\frac{\beta_i}{\beta_1 + \beta_2 + \ldots + \beta_n} \qquad (25)$$

Esta equação (25) permite determinar o valor do caudal em cada um dos ramos. Os coeficientes são definidos pelas equações (20):

$$\beta_i = \sqrt{\frac{D_i^5}{\alpha_i\,D_i^5 + 4\,f_i\,L_i}}$$

podendo arbitrar-se, em primeira aproximação:

$$\alpha_i = 1 \quad \text{(regime turbulento)}$$

e

$$f_i = 5 \times 10^{-3}$$

A subsequente determinação do número de Reynolds permite corrigir o resultado obtido.

Sejam:

$$q_1' \quad q_2' \ldots q_n'$$

os valores assim calculados. Da equação (22), resulta então:

$$q_i = \beta_i \sqrt{\frac{2\,g\,\pi^2}{16}\,(b_k - b_i) + \frac{q_k'^2}{\beta_k^2}} \quad (k \neq i) \qquad (26)$$

ou, substituindo na equação (23):

$$q_i + \sum_{\substack{k=1\\k\neq i}}^{n} \beta_i \sqrt{\frac{2\,g\,\pi^2}{16}\,(b_k - b_i) + \frac{q_k'^2}{\beta_k^2}} = q$$

Donde:

$$q_i = q - C_i \qquad (27)$$

sendo:

$$C_i = \sum_{\substack{k=1\\k\neq i}}^{n} \beta_i \sqrt{\frac{2\,g\,\pi^2}{16}\,(b_k - b_i) + \frac{q_k'^2}{\beta_k^2}}$$

Note-se que, neste somatório, k toma os seguintes valores:

$$1,\ 2,\ \ldots\ (i-1),\ (i+1),\ \ldots\ n$$

V) *Nomenclatura Americana*

Head — exprime um trabalho ou uma variação de energia, por unidade de peso do líquido circulante. A sua dimensão é a de um comprimento:

$$\left[\frac{\text{energia}}{\text{peso}}\right] = F\,.\,L\,.\,F^{-1} = L$$

Note-se que, por vezes, empregam também este termo exprimindo um trabalho ou uma variação de energia, por unidade de massa do líquido circulante. Isso resulta do facto seguinte: o trabalho por unidade de massa, expresso em

$$\text{kg m}\,.\,\text{kg}_{-m}^{-1}$$

é numèricamente igual ao trabalho por uniddade de peso, expresso em

$$\text{kgm}\,.\,\text{kg}_{-p}^{-1} = \text{m}$$

Friction head — perda de Carga.

Velocity head — variação de energia cinética por unidade de peso do líquido circulante

$$\frac{\alpha\,.\,\Delta V^2}{2\,g}$$

Total Static Head — variação de energia potencial, por unidade de peso do líquido circulante. O seu valor é igual à diferença de cotas do ponto de toma e do ponto de descarga.

Total Suction Head — pressão dinâmica na flange de sucção da bomba, expressa como altura de uma coluna do líquido circulante:

$$\mathscr{H}_s = \frac{p_s}{\gamma} + \frac{\alpha\,V_s^2}{2\,g}$$

Total Suction Lift — igual e de sinal contrário a $\mathscr{H}_s$.

Net Pressure Suction Head — diferença entre a pressão dinâmica na flange de sucção e a tensão de vapor do líquido, à temperatura de trabalho, ambas expressas como altura de uma coluna do líquido circulante. Representa-se (e designa-se) por N. P. S. H.:

$$\text{N. P. S. H.} = \mathscr{H}_s - \frac{p_v}{\gamma}$$

$$= \frac{p_s - p_v}{\gamma} + \frac{\alpha V_s^2}{2g}$$

em que:

p_v . . . tensão de vapor do líquido, à temperatura de serviço.

Total Discharge Head — pressão dinâmica na flange de descarga da bomba, expressa como altura de uma coluna do líquido circulante.

Total Head — trabalho, por unidade de peso do fluido circulante, necessário para efectuar o transporte.

* * *

Agradecemos ao Prof. Luís de Almeida Alves as útéis e valiosas sugestões apresentadas.

Bibliografia

— Luís de Almeida Alves — «Transporte de Líquidos» — Técnica, 1947, n.º 173 (Abril), pg. 303.

— Perry — «Chemical Engineers' Handbook», 3.ª edição, pg. 1414.

— R. de Saint-Vaulry — «Les pompes centrifuges dans les centrales thermiques» — «Revue Technique Sulzer», 1948, n,º 3, pg. 6.

— Crocker — «Piping Handbook».

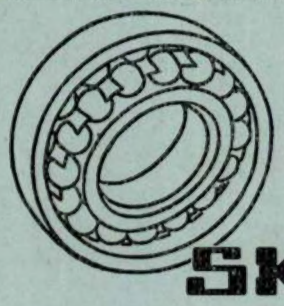
MENCK

Escavadora universal Diesel
MENK, modelo M 75,
de 80 CV, com balde de 1 m³

Representantes em Portugal:

Sociedade Michaëlis de Vasconcellos, L.da
PORTO — Praça da Liberdade, 114

Eng.º J. E. Michaëlis de Vasconcellos
LISBOA — R. Fialho de Almeida, 1



SKF

ROLAMENTOS
CHUMACEIRAS

LISBOA PRAÇA DA ALEGRIA 66-A Telef. 33995-34223
PORTO AV. DOS ALIADOS 150—152 Telef. 29776-29777